

## 2-5 考察

### 1. 地化学探査結果

オレンジ地域のマリカスクエラカーボナタイト複合岩体(MQC)に含まれる有用元素のうち、濃集度の高いのは希土類元素(La, Ce, Ndなど)とNb, Pである。

MQCを岩相別に区分した場合、希土類元素はカーボナタイト岩脈(Mcd), ベフォルサイト中央岩体(Mcb1), ベフォルサイト北東岩体(Mcb2), ソーバイト(Mcs)の順で高濃度を示す。しかし、カーボナタイト岩脈(Mcd)はその分布範囲は狭く、経済的な視点から見た場合、嫁行対象としては有望とは言い難い。ソーバイト(Mcs)の希土類元素は、全般に高濃度であるが、顕著な濃集が認められない。一方、ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)とベフォルサイト北東岩体(Mcb2)の希土類元素は、これら岩体の外周部に濃集する傾向がある。

ベフォルサイト両岩体(Mcb1, Mcb2)における各希土類元素の分布状況をみると、軽希土類元素(La, Ce, Nd)はt検定(5%危険率)にれば、両岩体で差は認められないが、中～重希土類元素(Eu, Tb, Yb, Lu)はベフォルサイト北東岩体(Mcb2)で濃集する。

Nbは、ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)とベフォルサイト北東岩体(Mcb2)の中央部、及び斑状霞石閃長岩岩体(Msp)で1,000ppm以上の高濃集が認められる。Nbは岩体中央部で濃集し、岩体外周部に濃集する希土類元素とは対照的である。ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)よりベフォルサイト北東岩体(Mcb2)で濃集する傾向にある。

Pは、ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)の外縁部、及びベフォルサイト北東岩体(Mcb2)及びその周辺に濃集する。高濃集部では、青緑色の燐灰石が細脈あるいはレンズ状の形態で産する。

ベフォルサイト両岩体(Mcb1, Mcb2)に含まれる希土類酸化物(R2O3)は、地表で最大2.7~3.2%, 平均で0.12~0.16%, Nbは地表で最大0.5~0.6%, 平均0.08~0.12%である。Pは地表で最大3.4%, 平均0.8%, 地下で最大4.5%, 平均1.2%である。

ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)は、Pb-Pb法による年代測定では $325.5 \pm 3.5$ Maを示した。一方、ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)は変成を受けたナマ層群(Nsh)を買っていることが確認されている。ナマ層群は530及び495Maに変成作用を受けており(Ahrendt, 1997), ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)はこの年代よりも新しい。Pb-Pb法による年代測定結果はこの地質現象と対応している。しかし、Smithies(1990)による、同一貫入岩体群(MQC)に属する閃長岩のRb-Sr年代測定では $505 \pm 18$ Maを示しており、本調査による年代はこれより、やや若くなっている。ベフォルサイトを含むMQCの年代を正確に知るには、複数の測定を実施する必要がある。

EPMA定量分析によれば、希土類鉱物のバストネサイトは $(Ce, Nd, La, Pr, Ca, Fe, Sr)CO_3(F, OH)$ の組成を持ち、Ce, Nd, Laに富む。Nb鉱物のパイロクロアは $(Na, Ca)_2(Nb)_2O_6(F)$ の組成を持つ。Na:Caの原子数比(Atomic Ratio)は、ほぼ1:1であり、ポーリングコア中のパイロクロアとも化学組成は同一である。

酸素及び炭素同位体比によれば、方解石や苦灰石の $\delta^{13}C$ や $\delta^{18}O$ はソーバイト、ベフォルサイト北東岩体(Mcb2), ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)の順に増加し、貫入の順序と対応している。最末

期のカーボナタイト岩脈(Mcd)は同位体比のバラツキが大きい。

## 2. ボーリング調査

ボーリングはベフォルサイト中央岩体(Mcb1)とベフォルサイト北東岩体(Mcb2)で実施した。ベフォルサイトは主に苦灰石からなるが、ボーリングコア観察による随伴鉱物の特徴から、これを他の随伴鉱物の少ないベフォルサイト、アンケライトに富むベフォルサイト、硫化鉱物に富むベフォルサイト、金雲母に富むベフォルサイト、燐灰石に富むベフォルサイト、及びこれらの風化したベフォルサイトに区分した。

ベフォルサイト中央岩体の浅部は、風化したベフォルサイトまたはアンケライトに富むベフォルサイトを主とし、深部は鉄酸化物や硫化鉱物に富むベフォルサイトを主とする。

鉄酸化物は磁鉄鉱を主とするが、赤鉄鉱を伴う場合がある。硫化鉱物は黄鉄鉱、白鉄鉱、磁硫鉄鉱を主とし、微量の閃亜鉛鉱や方鉛鉱を伴う。

ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)の浅部は、風化したベフォルサイトからなるが、この風化帯は薄い。深部では金雲母や燐灰石に富むベフォルサイトからなる。アルカリ角閃石やアルカリ長石、黄鉄鉱、硫砒鉄鉱、磁鉄鉱を伴う場合がある。中央岩体と比較して風化の程度が弱い。

全岩化学分析値に基づいたノルム計算によると、ベフォルサイト中央岩体はベフォルサイト北東岩体より磁鉄鉱やフォルステライトに富み、燐灰石に乏しい。この計算結果はコア観察結果と良く対応している。

地化学分析結果から、Sc, U, Ta, Feはベフォルサイト中央岩体で富み、YやPはベフォルサイト北東岩体で富む。希土類酸化物(R2O3)や、Th, Nb, Zr, Mn, Srは両岩体で同程度である。ベフォルサイト中央岩体で鉄酸化物に富むこと、ベフォルサイト北東岩体で燐灰石に富むことは、分析結果と一致している。E PMA定量分析によればベフォルサイト中央岩体及びベフォルサイト北東岩体のパイロクロアは $(\text{Na}, \text{Ca})_2(\text{Nb})_2\text{O}_6(\text{F})$ の同様な組成を持ち、Na:Caの原子数比も、ほぼ1:1である。地表のパイロクロアとも化学組成は同一である。

希土類酸化物(R2O3)は、MJNO-1孔で最高2.7%を得たが、深度的な連続性はない。また、MJNO-1で平均が3,000ppmを越えたが、その他の孔では、平均は1,000ppm以下である。ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)とベフォルサイト中央岩体で希土類酸化物の濃度に差はない。

しかし、希土類元素の個別の傾向を見ると、軽希土類元素(La, Ce, Nd)はt検定(5%危険率)によれば、ベフォルサイト両岩体で差は認められないが、中～重希土類元素(Eu, Tb, Yb, Lu)はベフォルサイト北東岩体で濃集する。

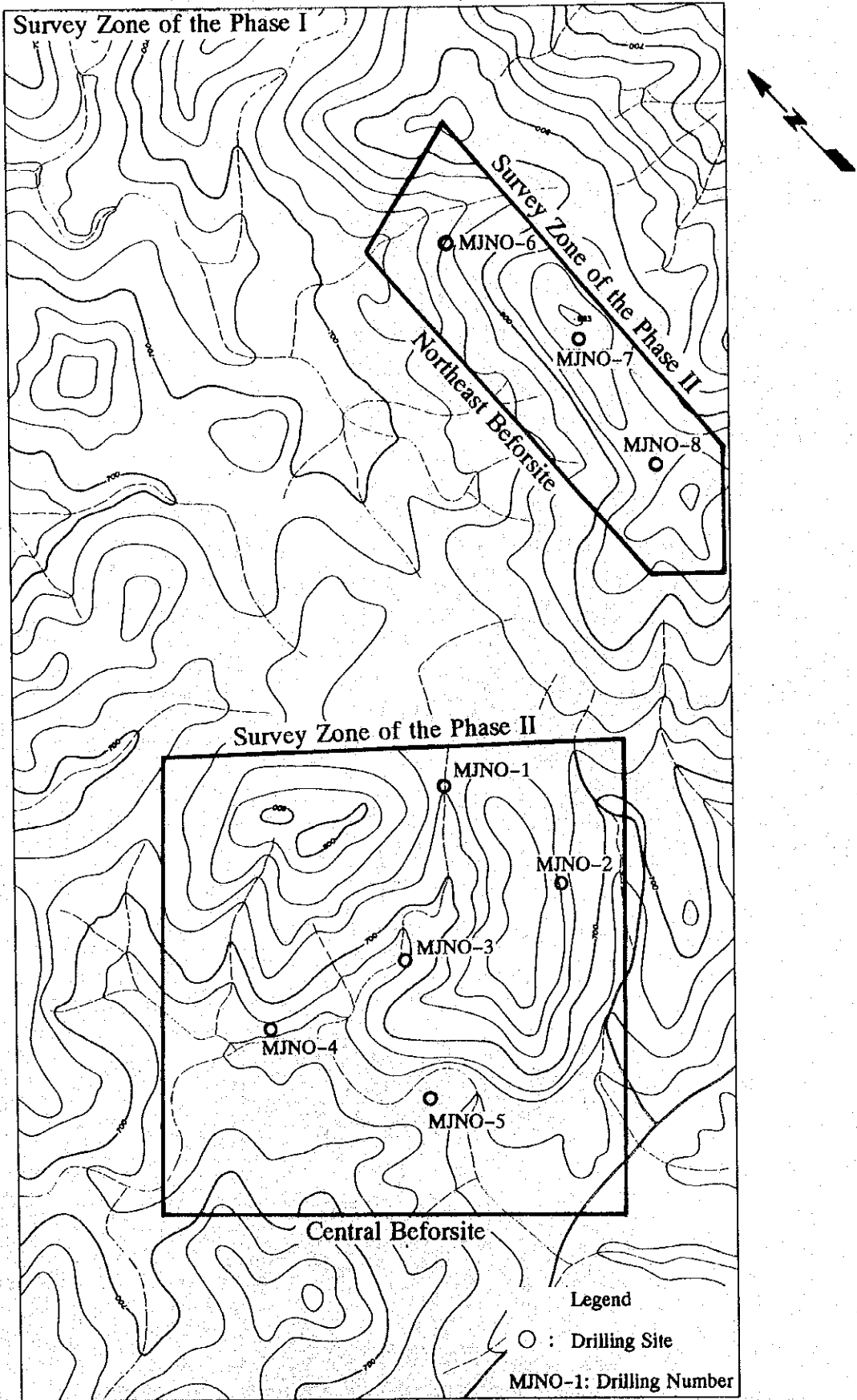
一方、希土類パターン(図II-2-8)の最頻度値(モード値)から、カーボナタイト岩脈(Mcd)が最も高濃度部に位置し、ソバイト(Mcs)、ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)、ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)の順に低濃度側に位置する。しかし、ベフォルサイト両岩体(Mcb1, Mcb2)は、カーボナタイト岩脈やソバイトより高濃度側に分布するものが多い。従って、希土類の平均濃度はカーボナタイト岩脈、ベフォルサイト両岩体、ソバイトの順に低くなる。

その他の元素で高濃度のものはNb, Sr, Pである。Nbはベフォルサイト中央岩体で平均1,042ppm, ベフォルサイト北東岩体で2,039ppmである。Srはベフォルサイト中央岩体で平均5,993ppm, ベフォルサイト北東岩体で6,209ppmである。Pはベフォルサイト中央岩体で平均6,257ppm, ベフォルサイト北東岩体で11,803ppmである。NbやSrは両岩体で差はないが, Pはベフォルサイト北東岩体に多い。

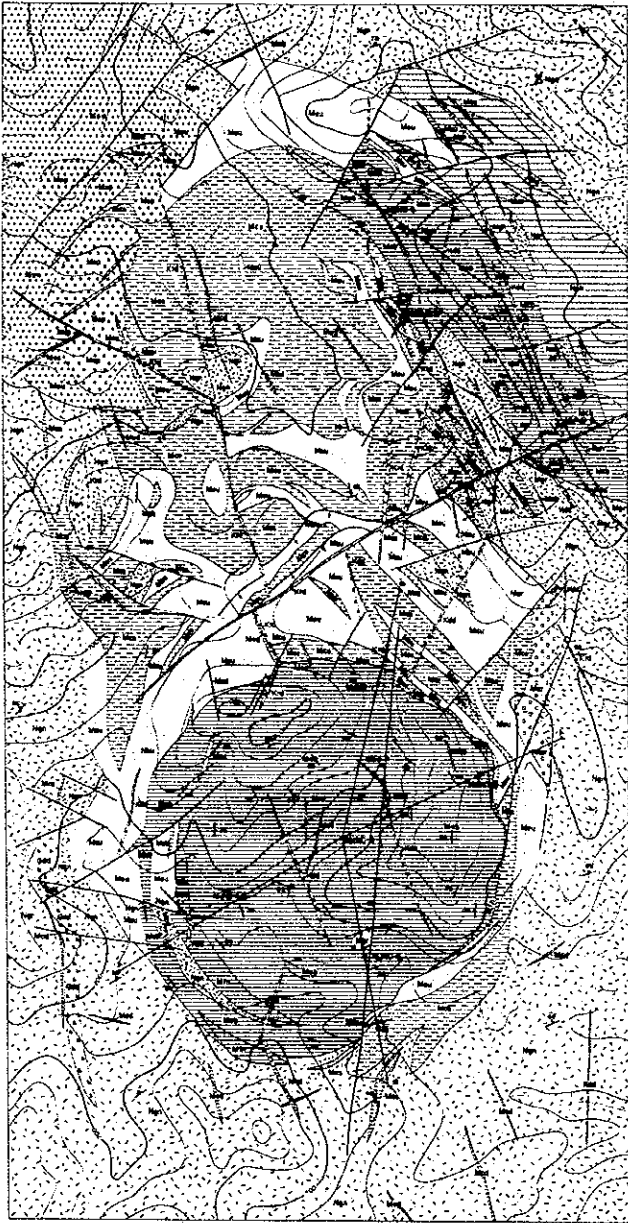
酸素及び炭素同位体比によれば, ベフォルサイト中央岩体では深所で方解石や苦灰石の $\delta^{13}\text{C}$ に富み,  $\delta^{18}\text{O}$ に乏しくなる。ベフォルサイト両岩体を比較すると, ベフォルサイト中央岩体(Mcbl)で $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ とも富む傾向にある。これは地表の結果とも対応している。

また, 同一岩体内での変動を見ると, ベフォルサイトの中央部より周辺部で $\delta^{13}\text{C}$ 及び $\delta^{18}\text{O}$ に富み, 周辺岩体接触部付近では再び減少する可能性がある。



















































Th/Yb-Y/Yb図(図II-2-7)によれば, ソバイト, ベフォルサイト両岩体, カーボナタイト岩脈は特有の組成領域を示す。Yは重希土類(Ybなど)とほぼ同様な化学的挙動を示し, 固相に濃集しやすく, Thは液相に濃集しやすい。ベフォルサイト中央岩体ではThの含有量に幅があるものの, Thはソバイトで最も少なく, ベフォルサイト両岩体, カーボナタイト岩脈の順に多くなる。貫入順序もソバイト, ベフォルサイト両岩体, カーボナタイト岩脈であり, Thが液相に濃集する現象と整合的である。



図Ⅱ-2-1 オレンジ地域調査位置図 0 100 200 300 400 500<sup>m</sup>



LEGEND

-  Fault line
-  Fault zone
-  Boundary of batholiths
-  Devonian grey shales or shaly shales
-  Devonian shales
-  Devonian micaceous shales
-  Middle Devonian shales
-  Devonian shales with red top
-  Devonian shales
-  Devonian shales with red top
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales
-  Devonian shales

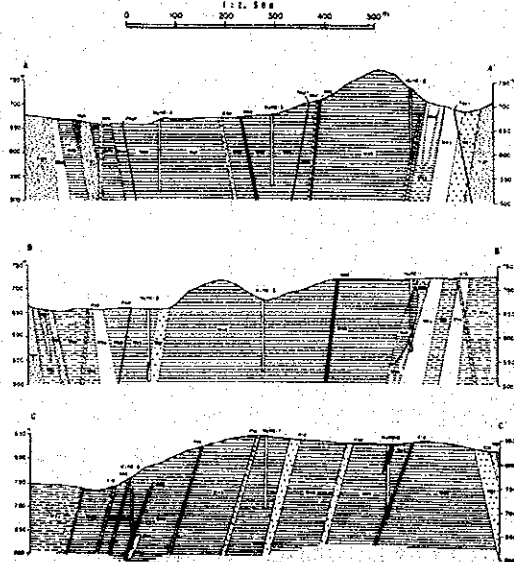


図 II-2-2 オレンジ地域の地質及び地質断面図

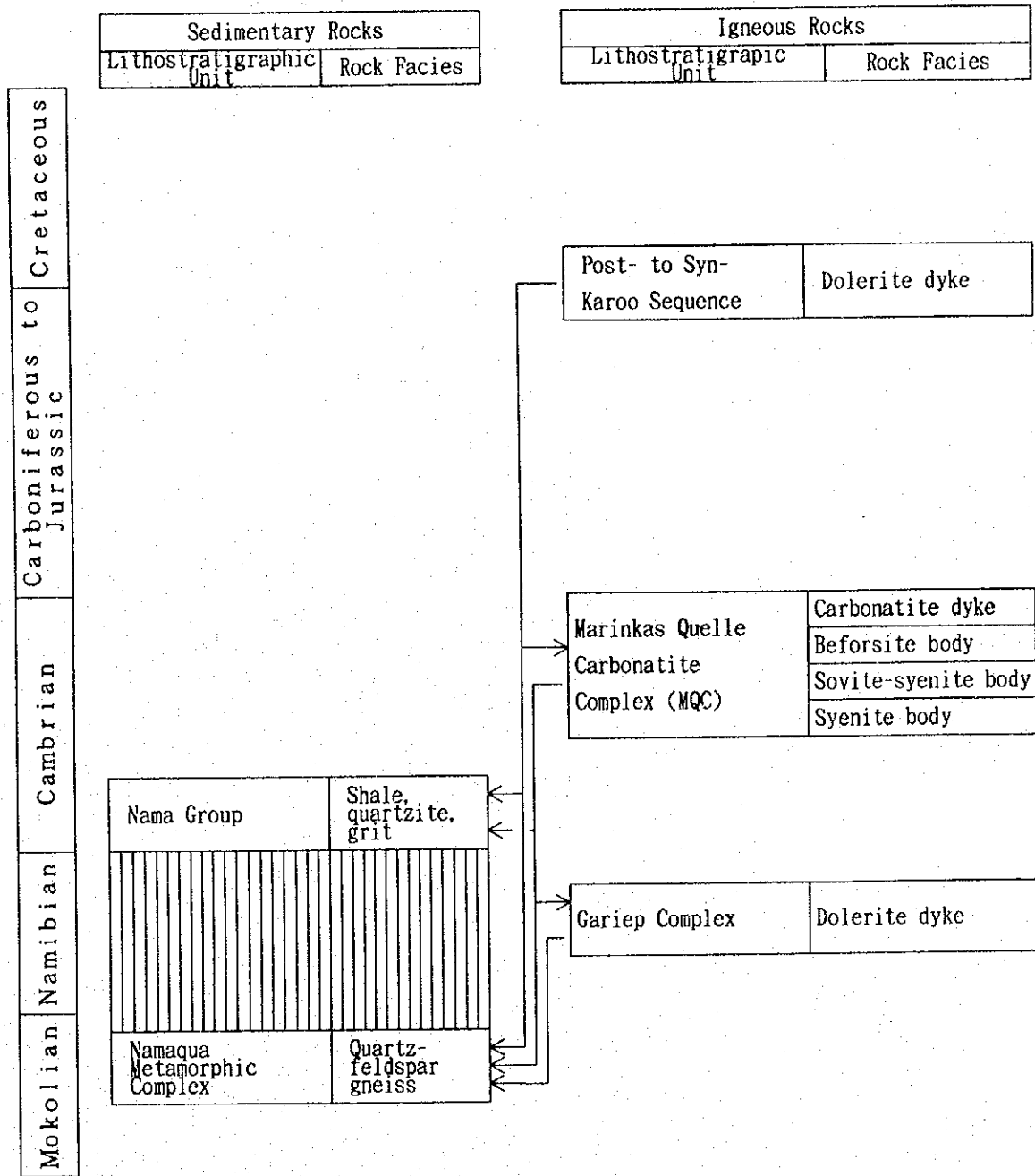
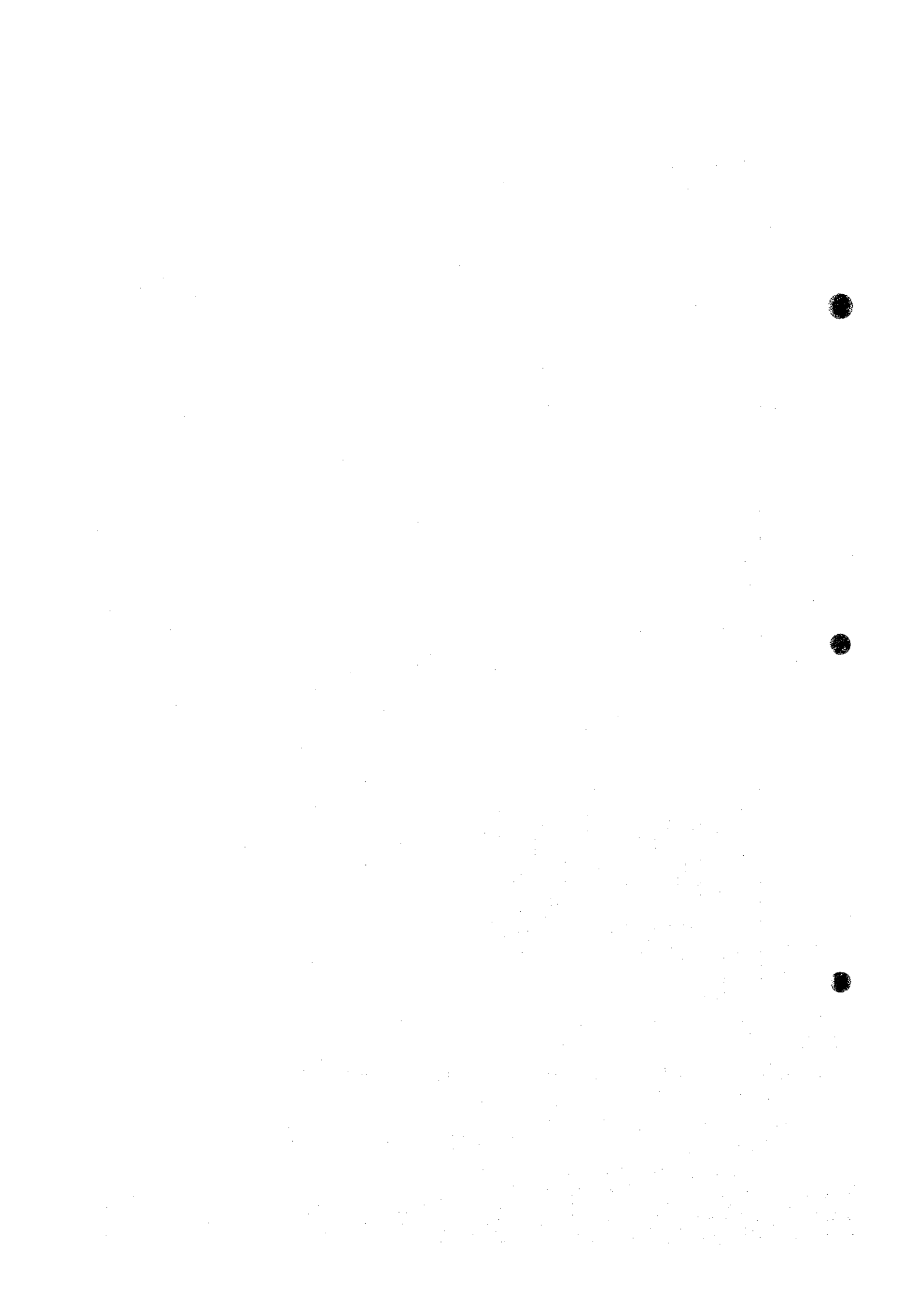
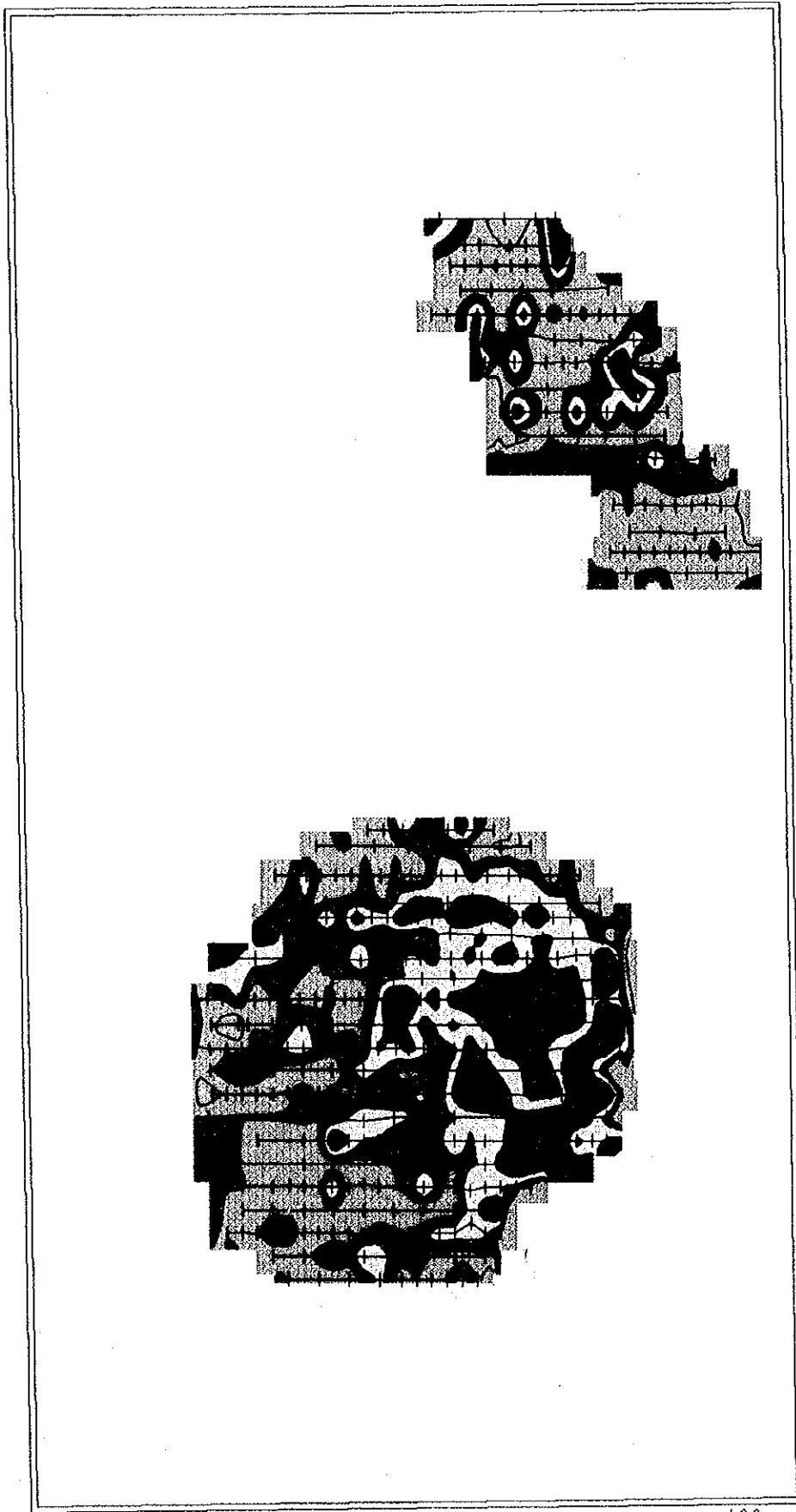


図 II - 2 - 3 オレンジ地域の模式層序





Survey line &  
the measurement sites

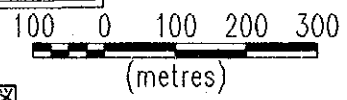
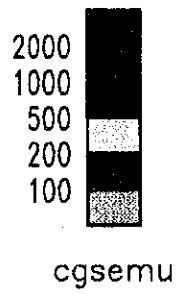
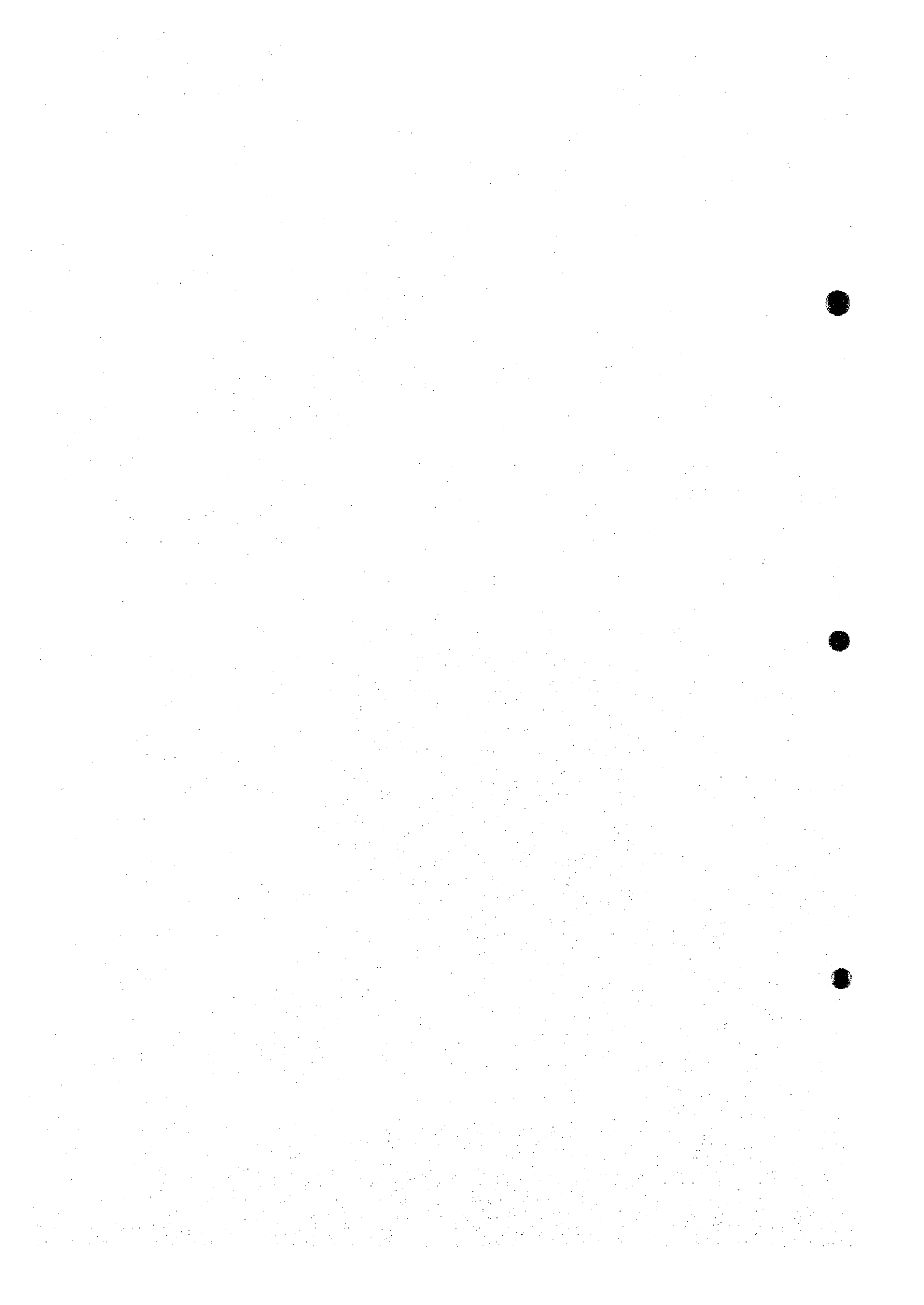
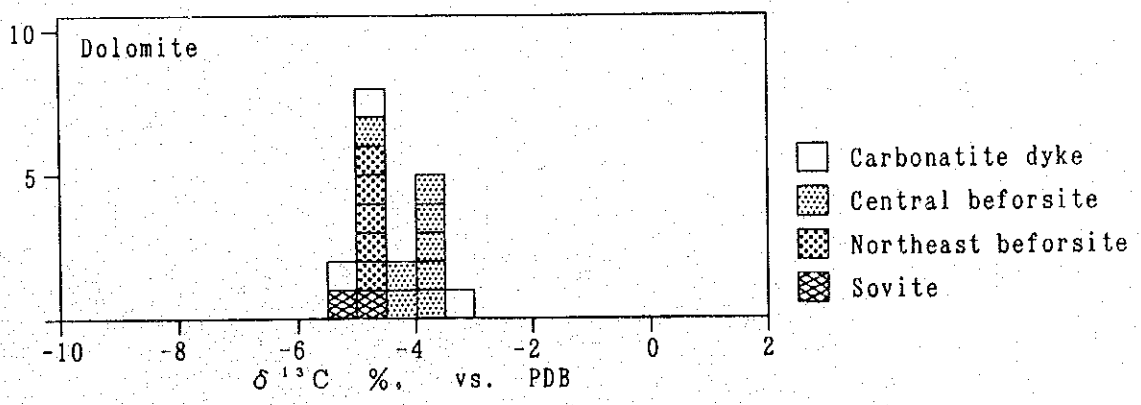
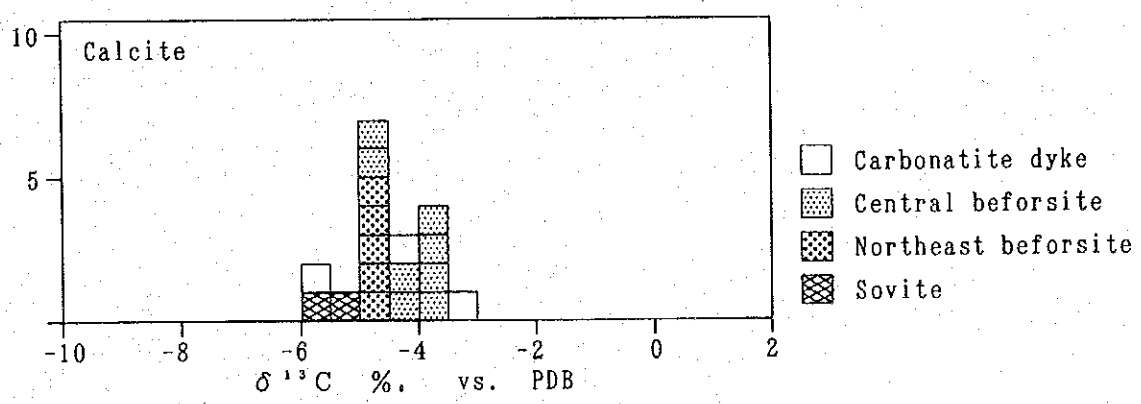
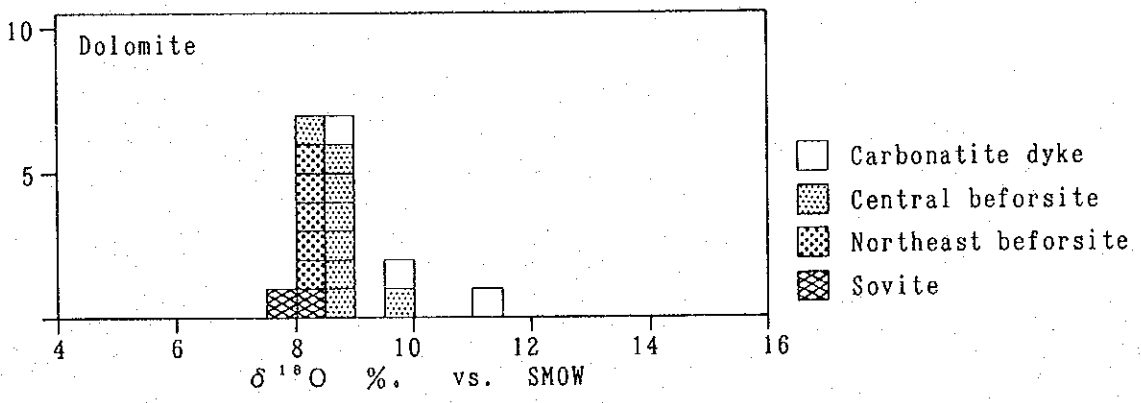
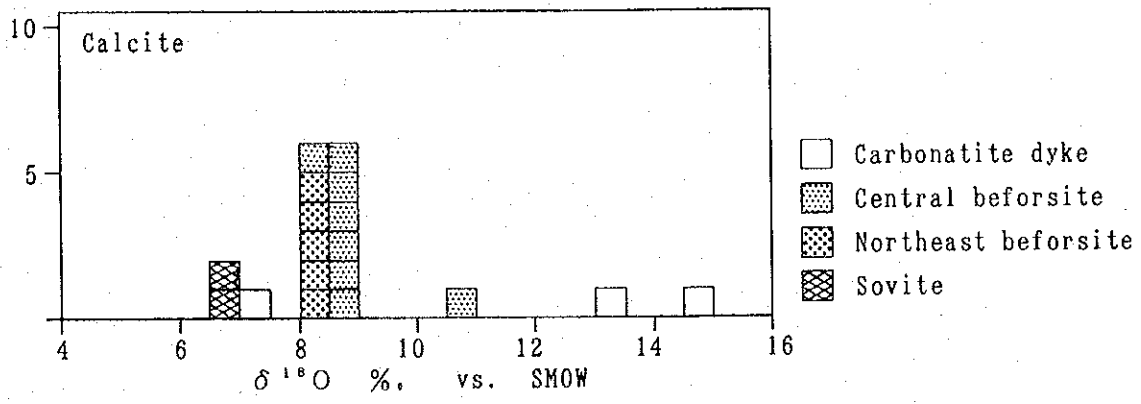


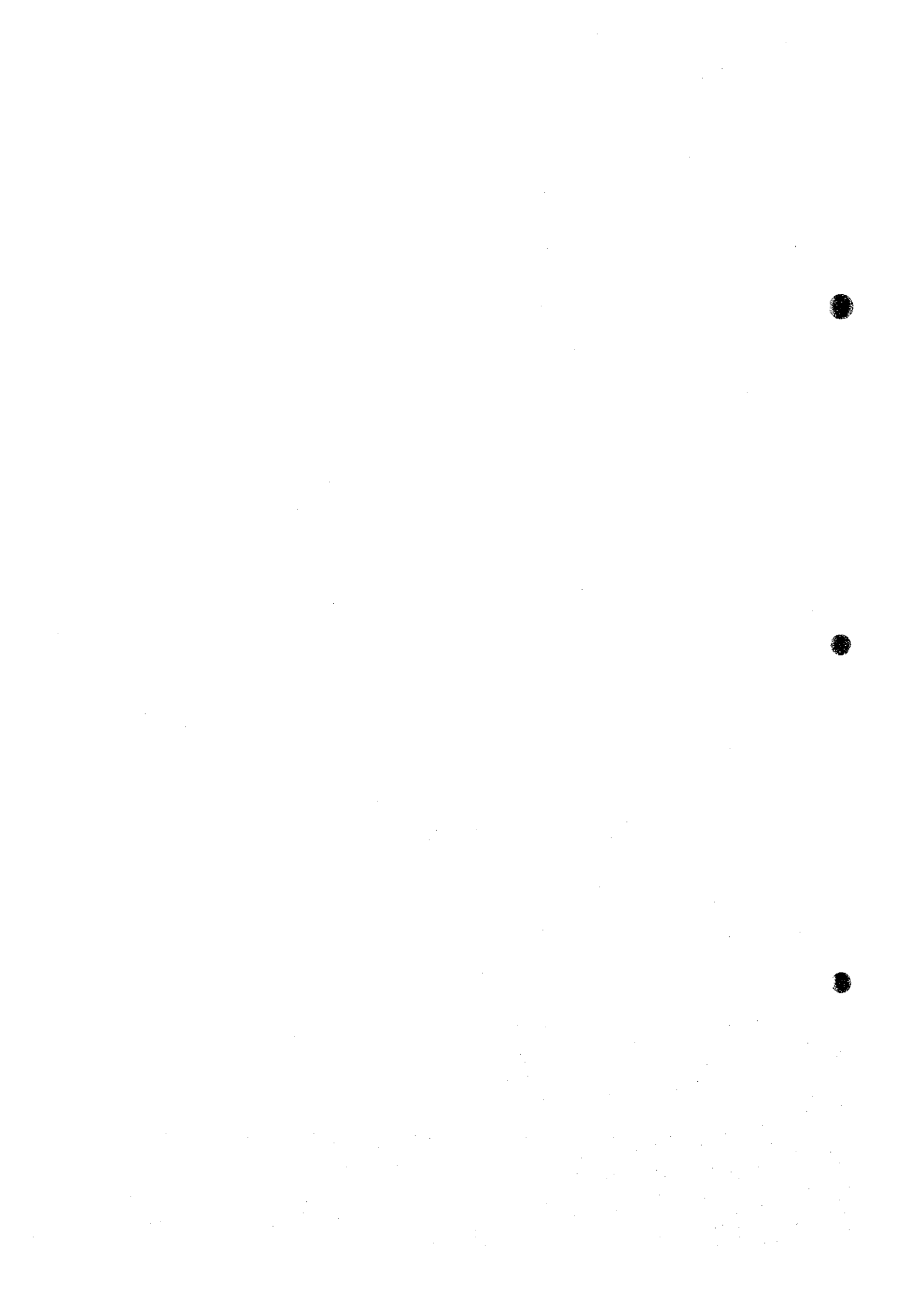
図 II - 2 - 4 オレンジ地域の帯磁率分布図







図Ⅱ-2-5 オレンジ地域の酸素及び炭素同位体組成の頻度分布図



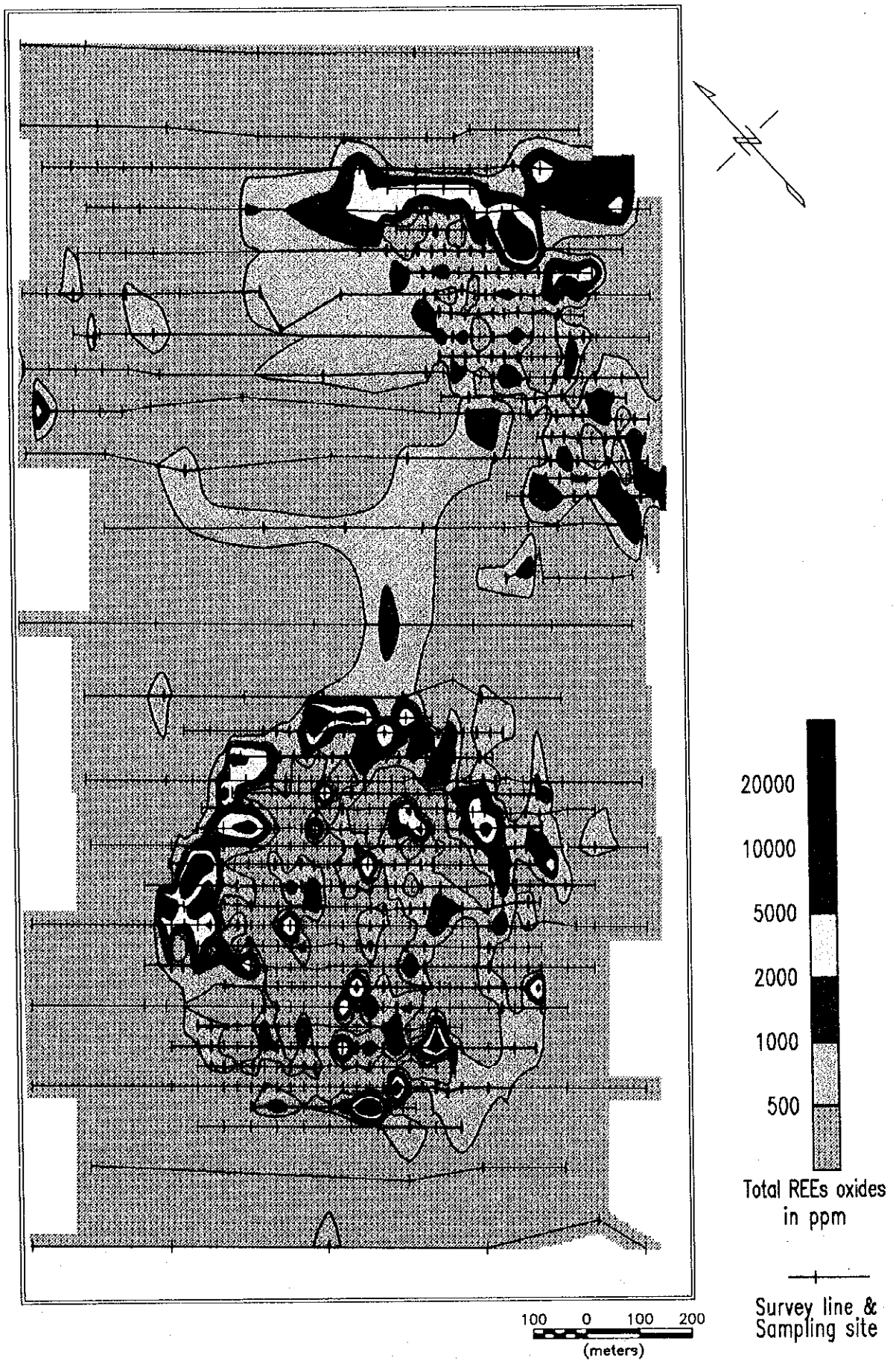
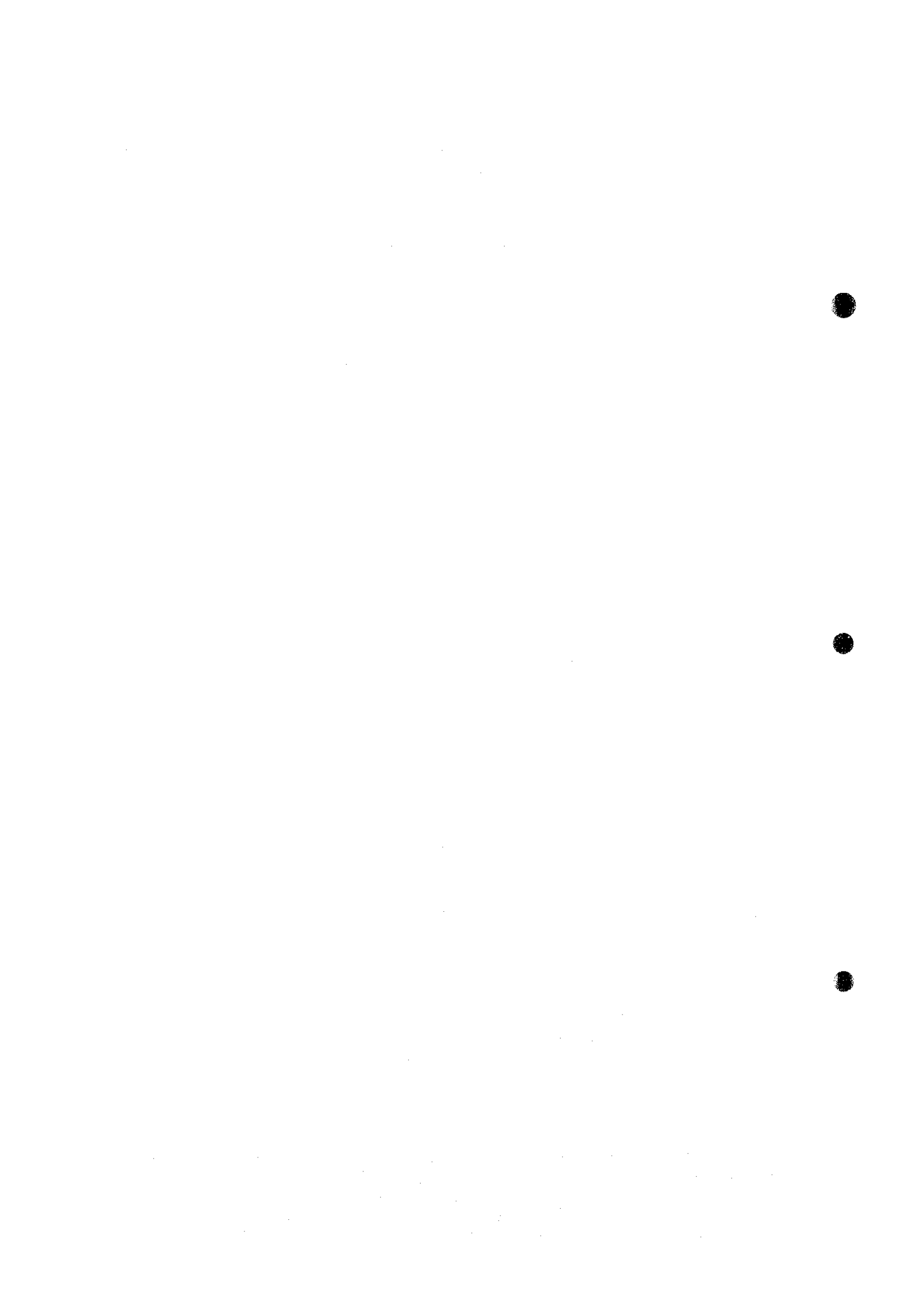


図 II - 2 - 6 オレンジ地域の地化学探査解析図 (酸化物に換算した全 R E E s)



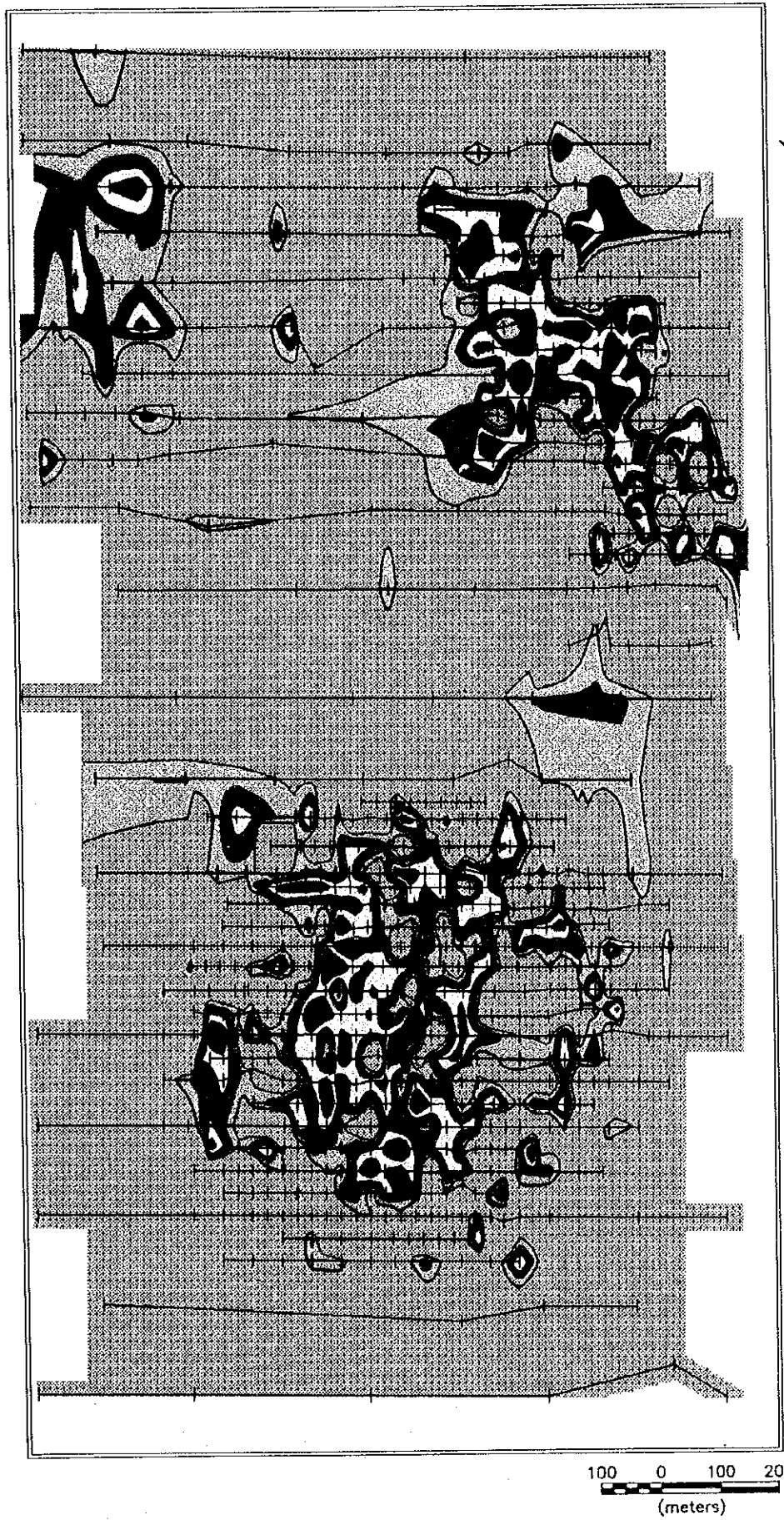
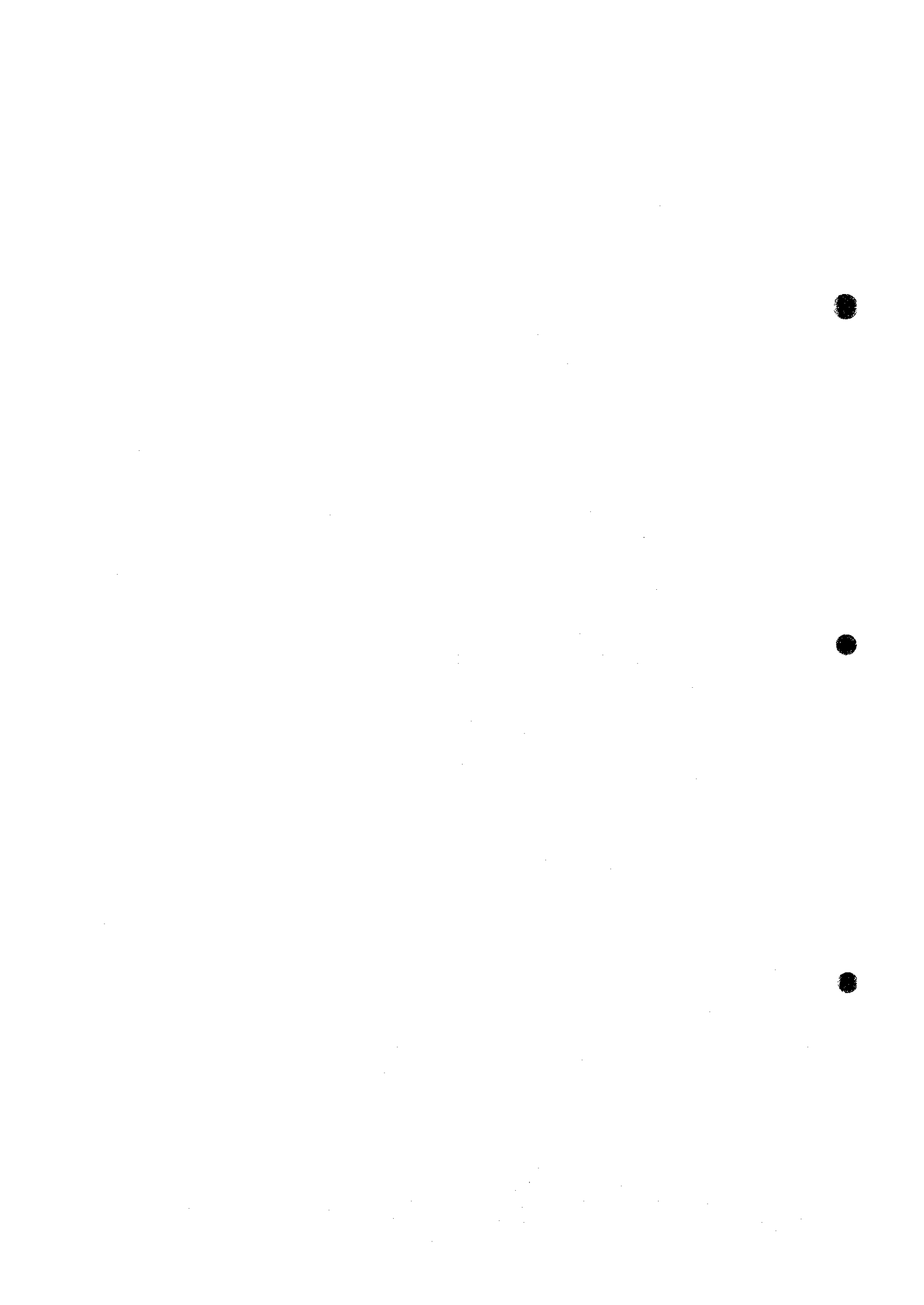
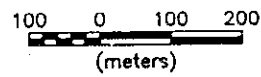
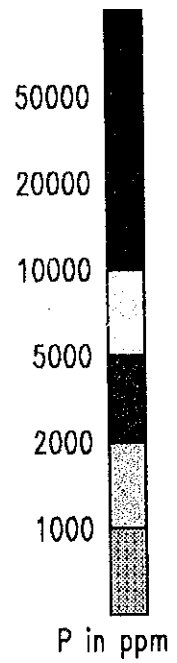
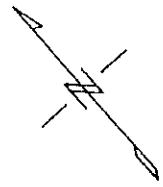
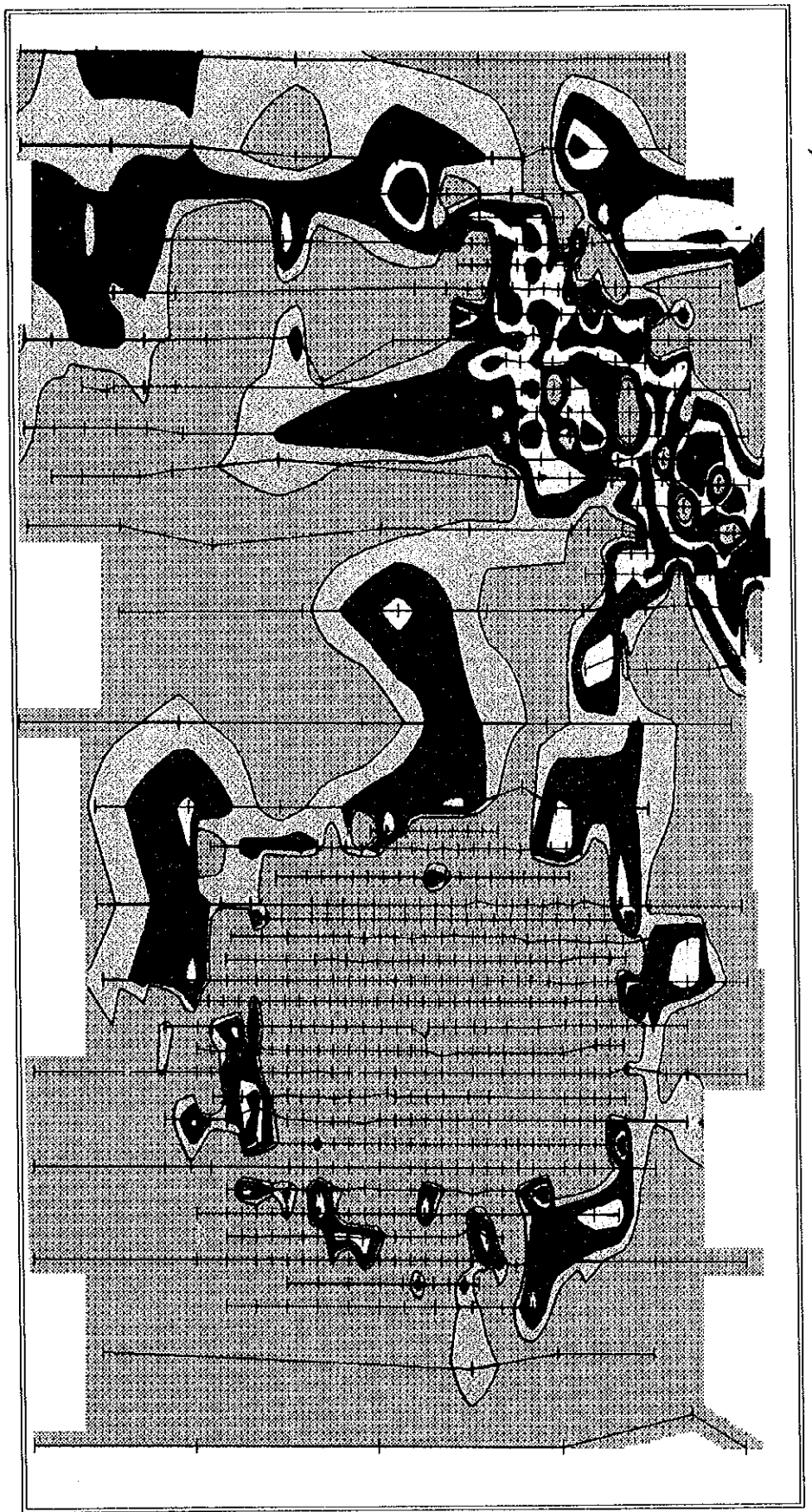


図 II - 2 - 6 オレンジ地域の地化学探査解析図 (Nb)



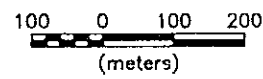
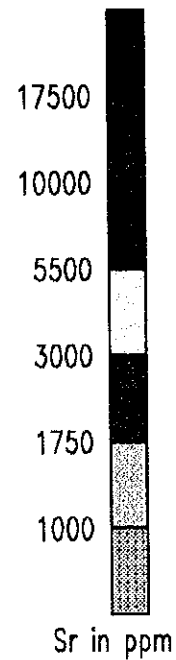
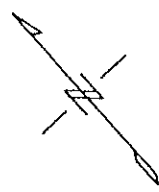
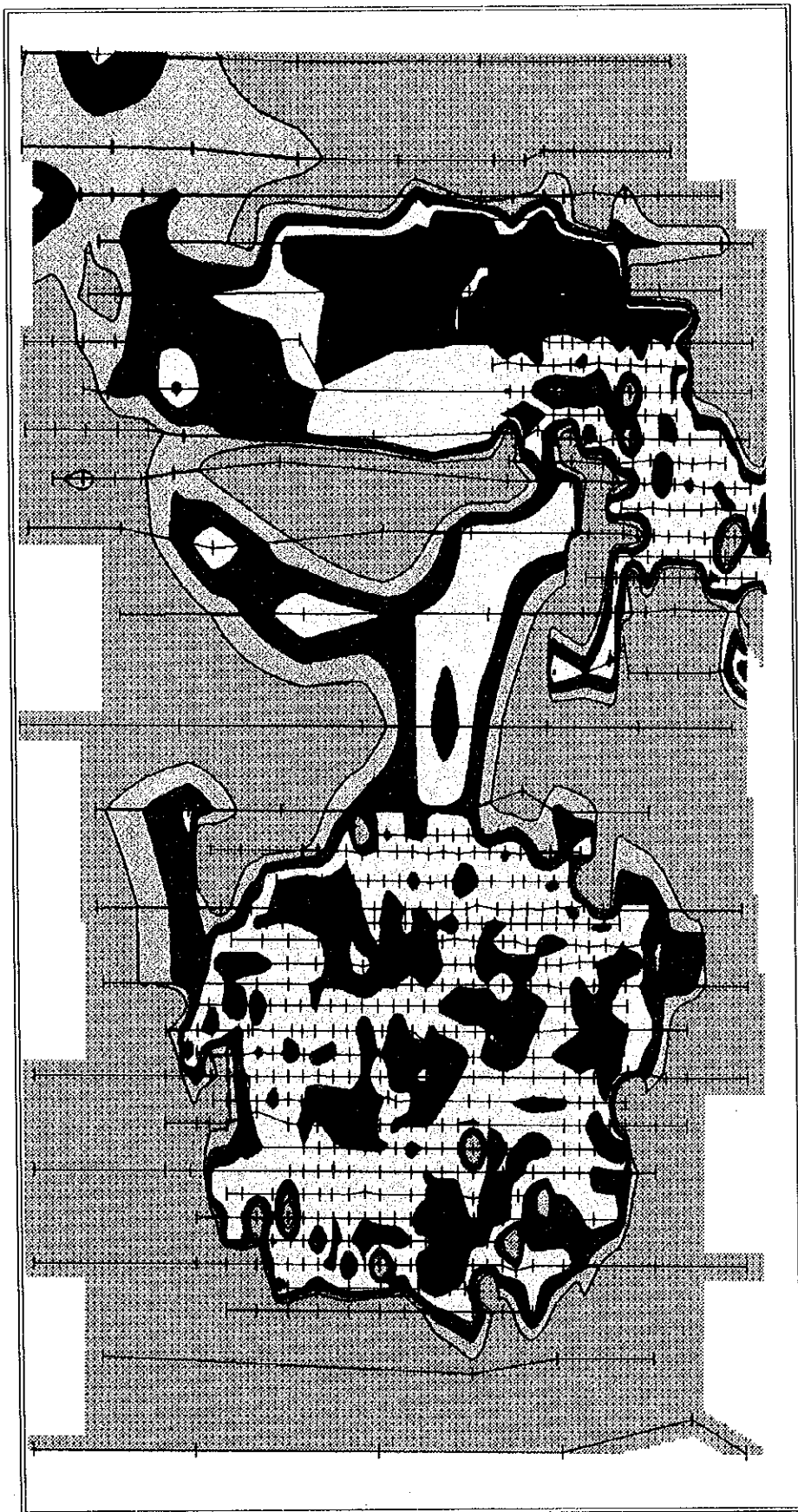


Survey line & Sampling site

図 II - 2 - 6 オレンジ地域の地化学探査解析図 (P)

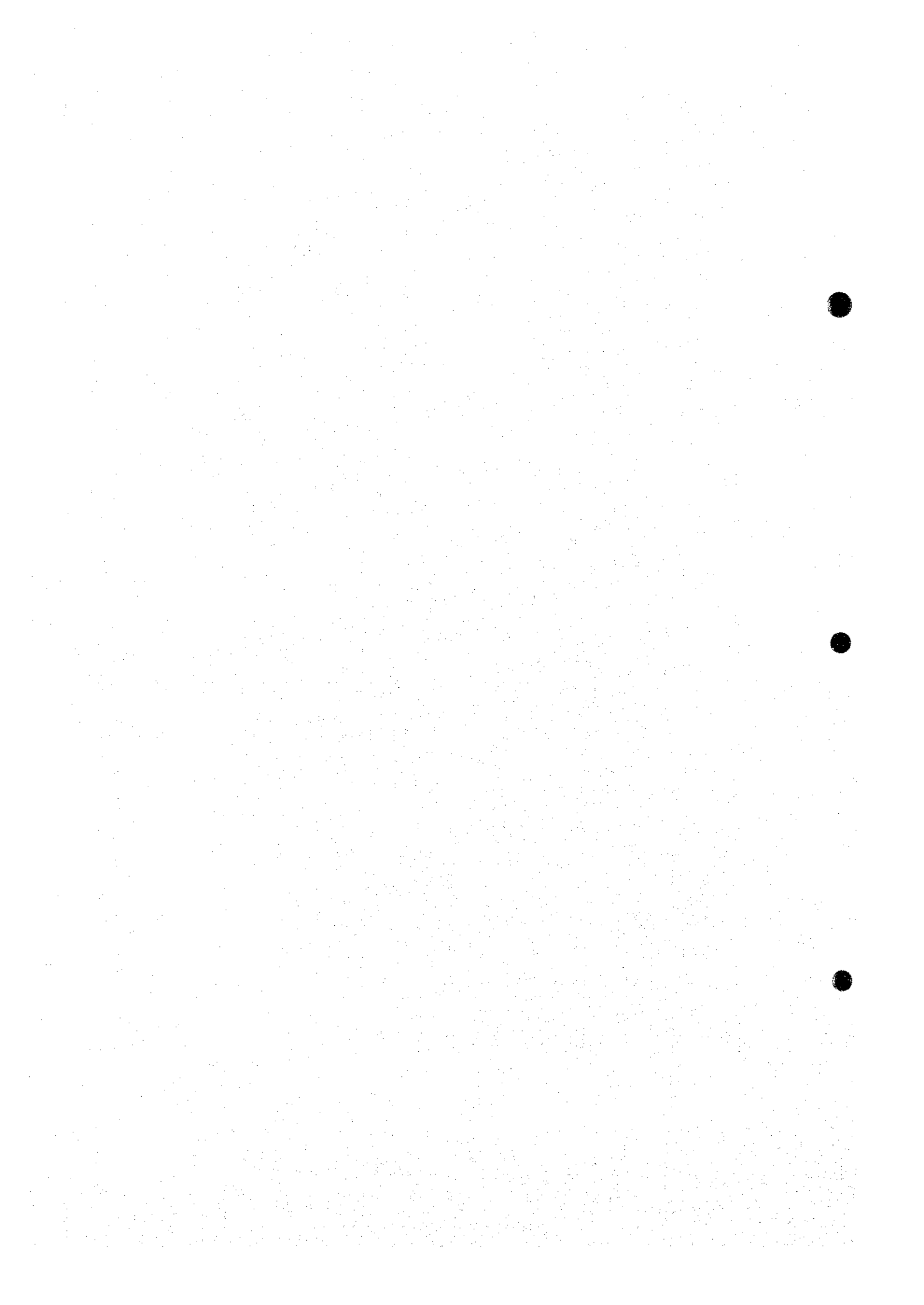


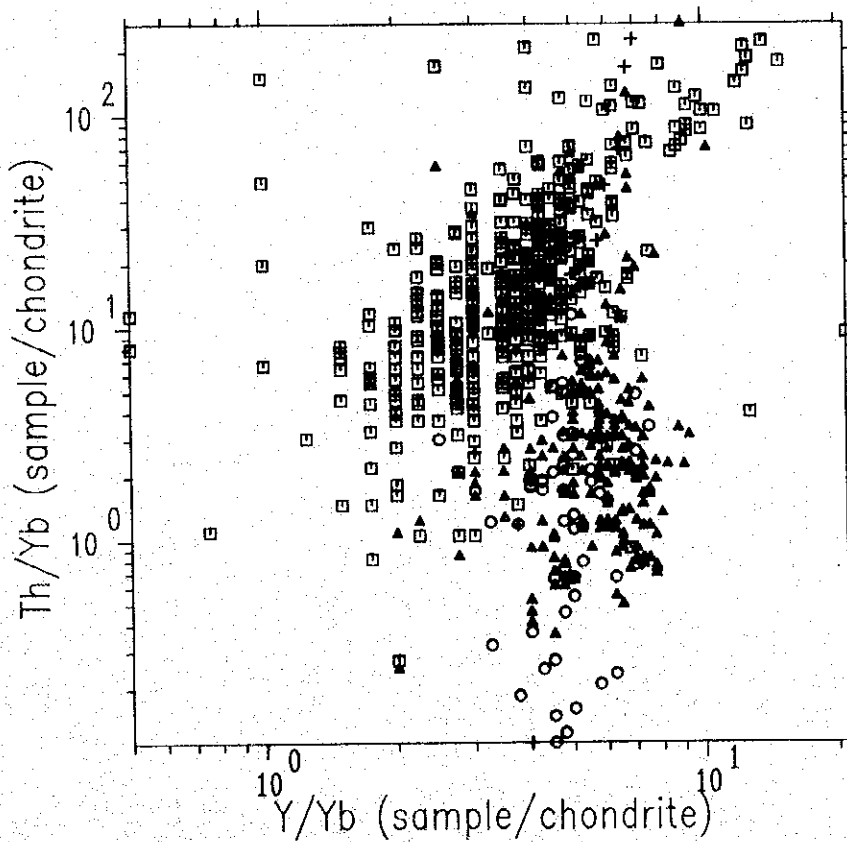
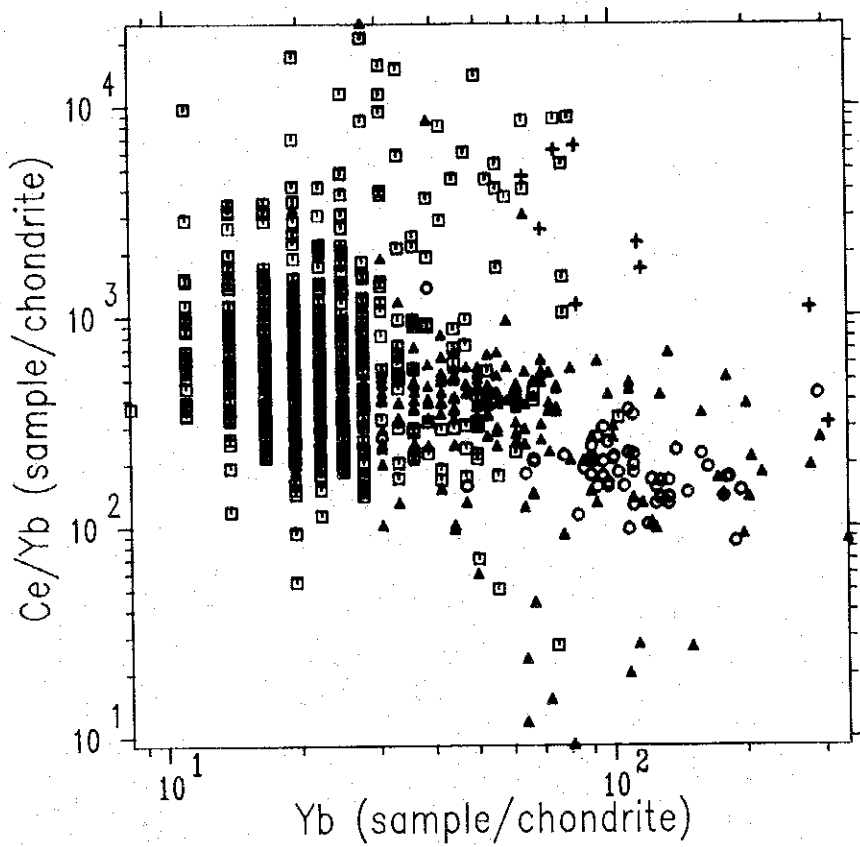




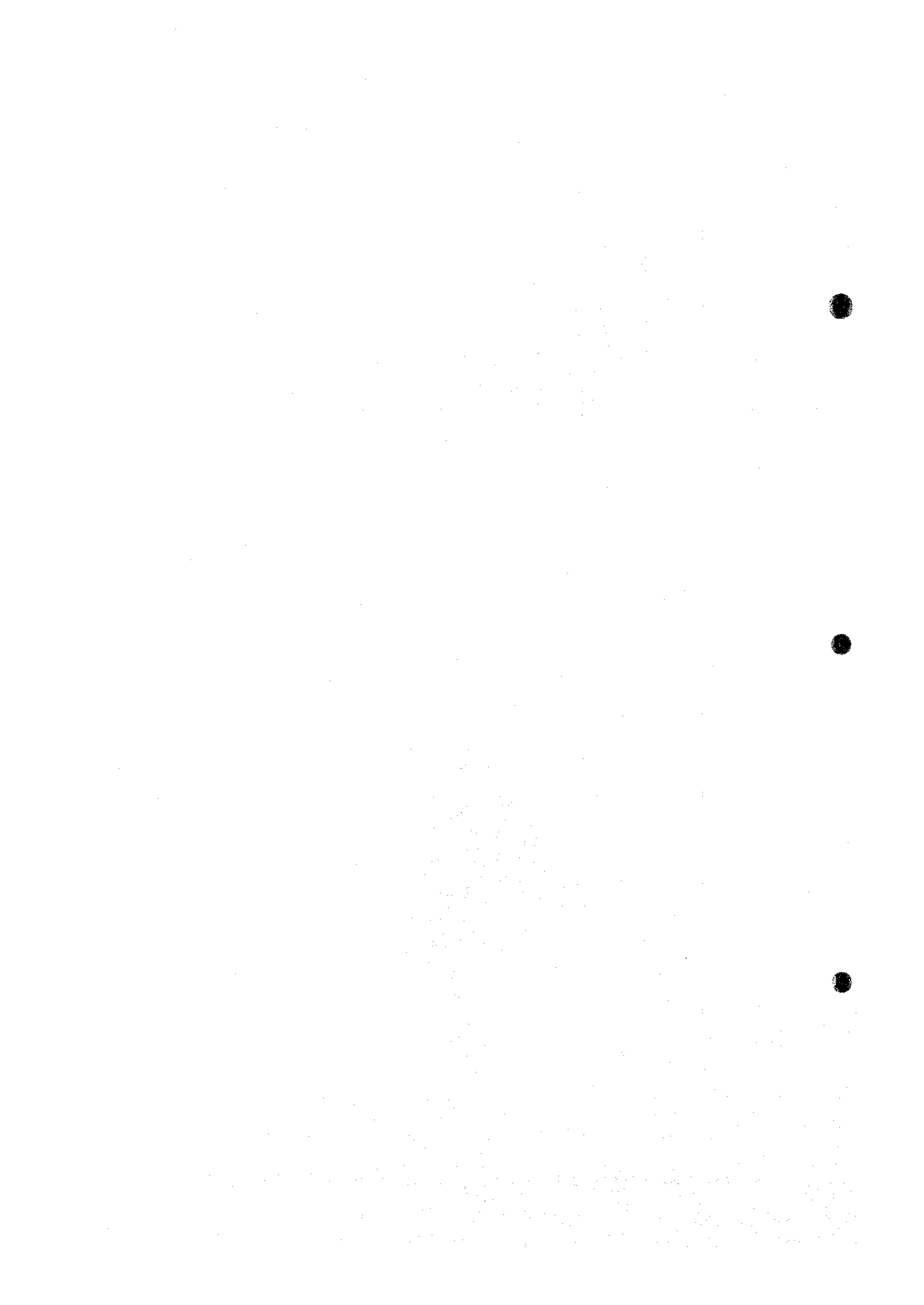
Survey line & Sampling site

図 II - 2 - 6 オレンジ地域の地化学探査解析図 ( S r )





図II-2-7 オレンジ地域のY/Yb-Th/Yb図及びYb-Ce/Yb図



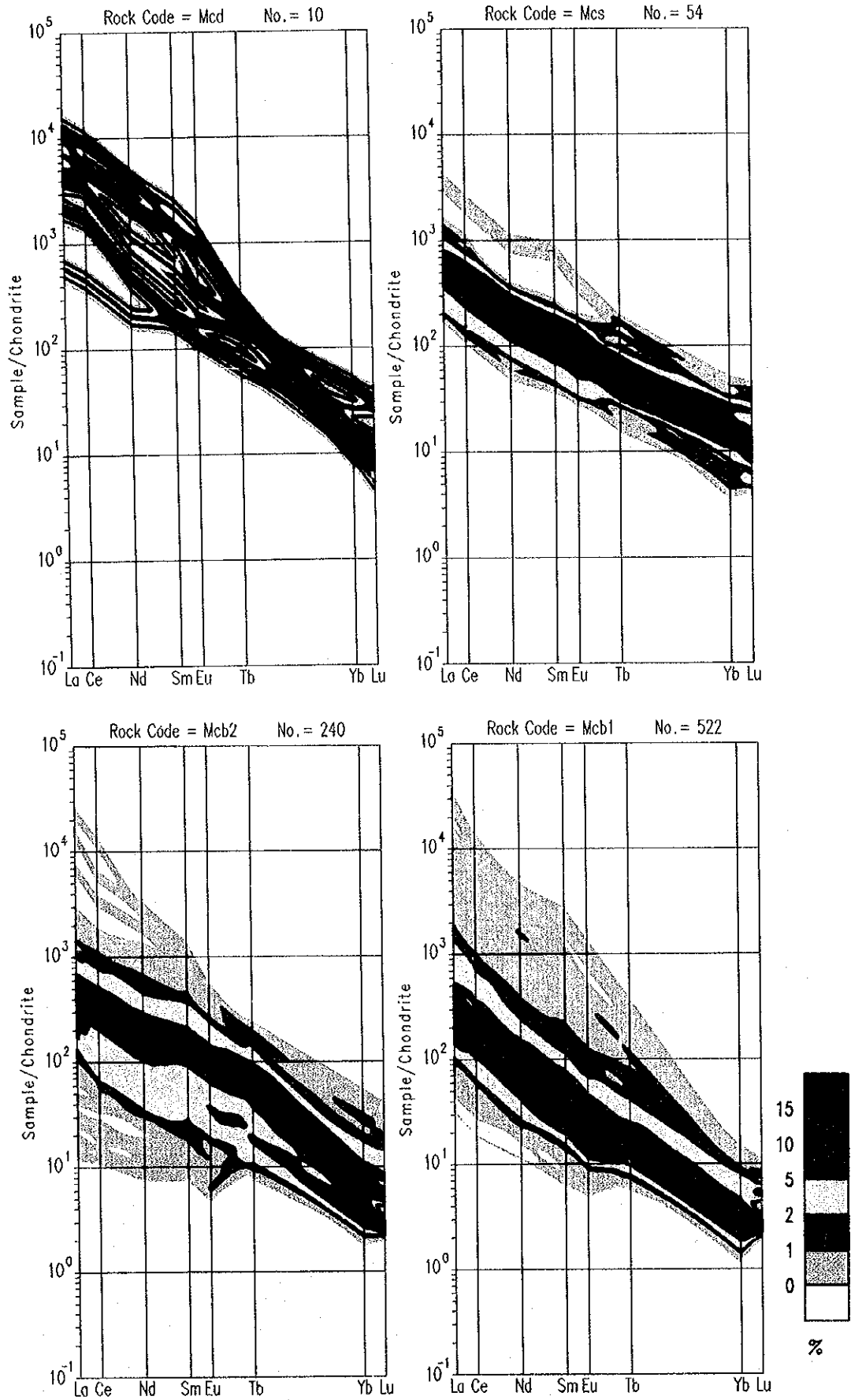
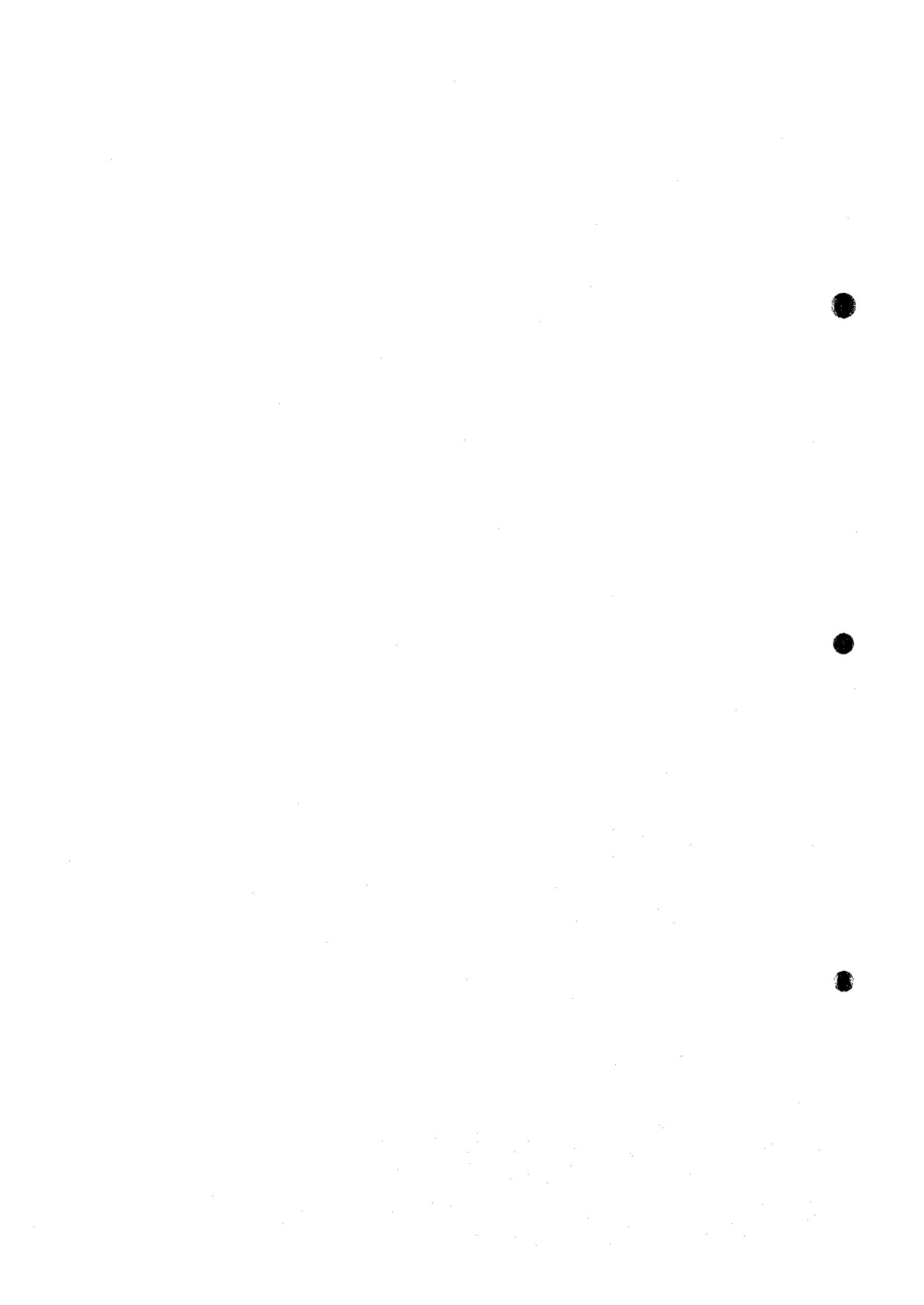


図 II - 2 - 8 オレンジ地域の希土類元素パターン (1)



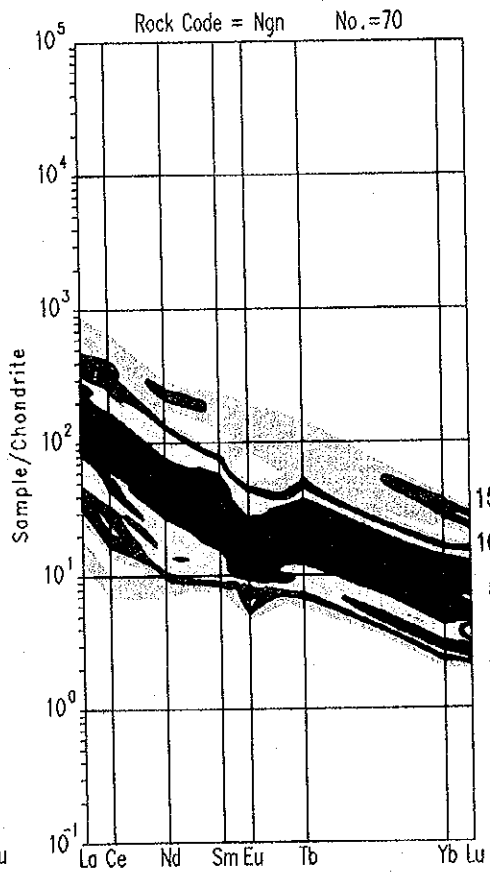
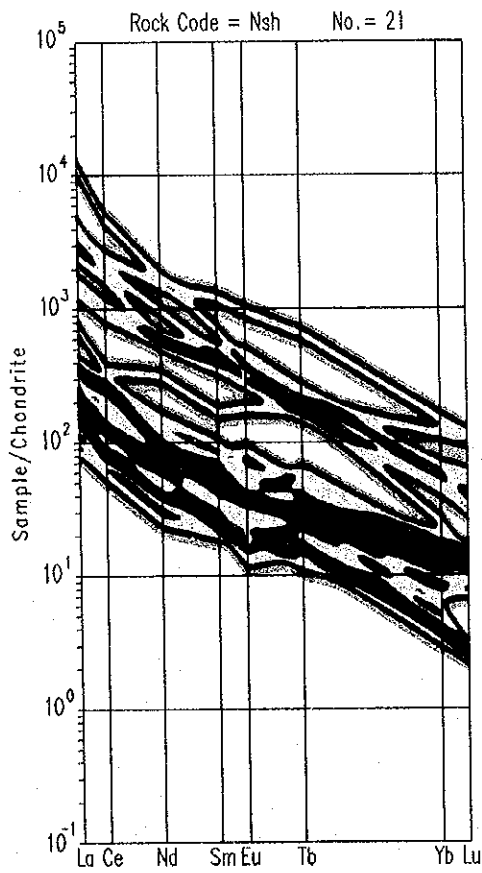
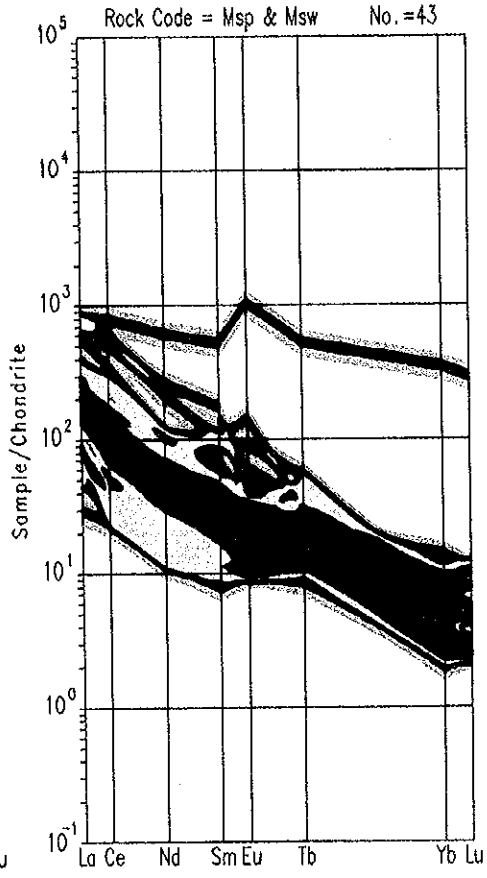
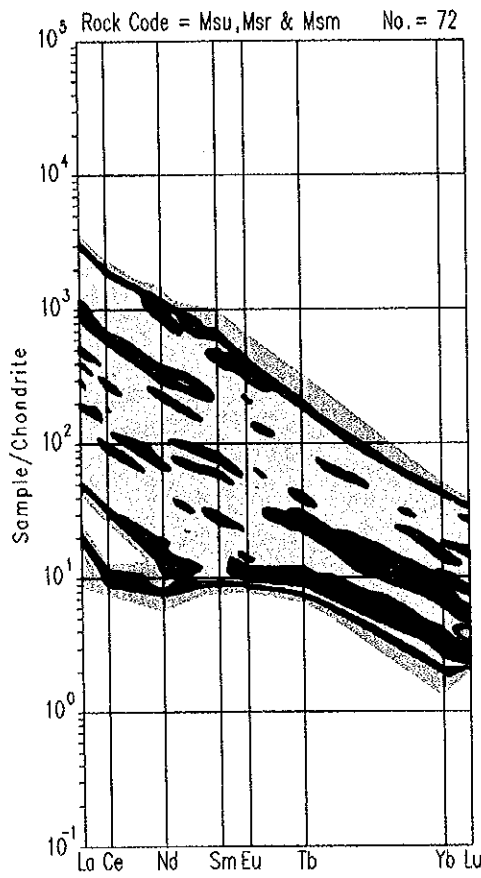


図 II - 2 - 8 オレンジ地域の希土類元素パターン (2)



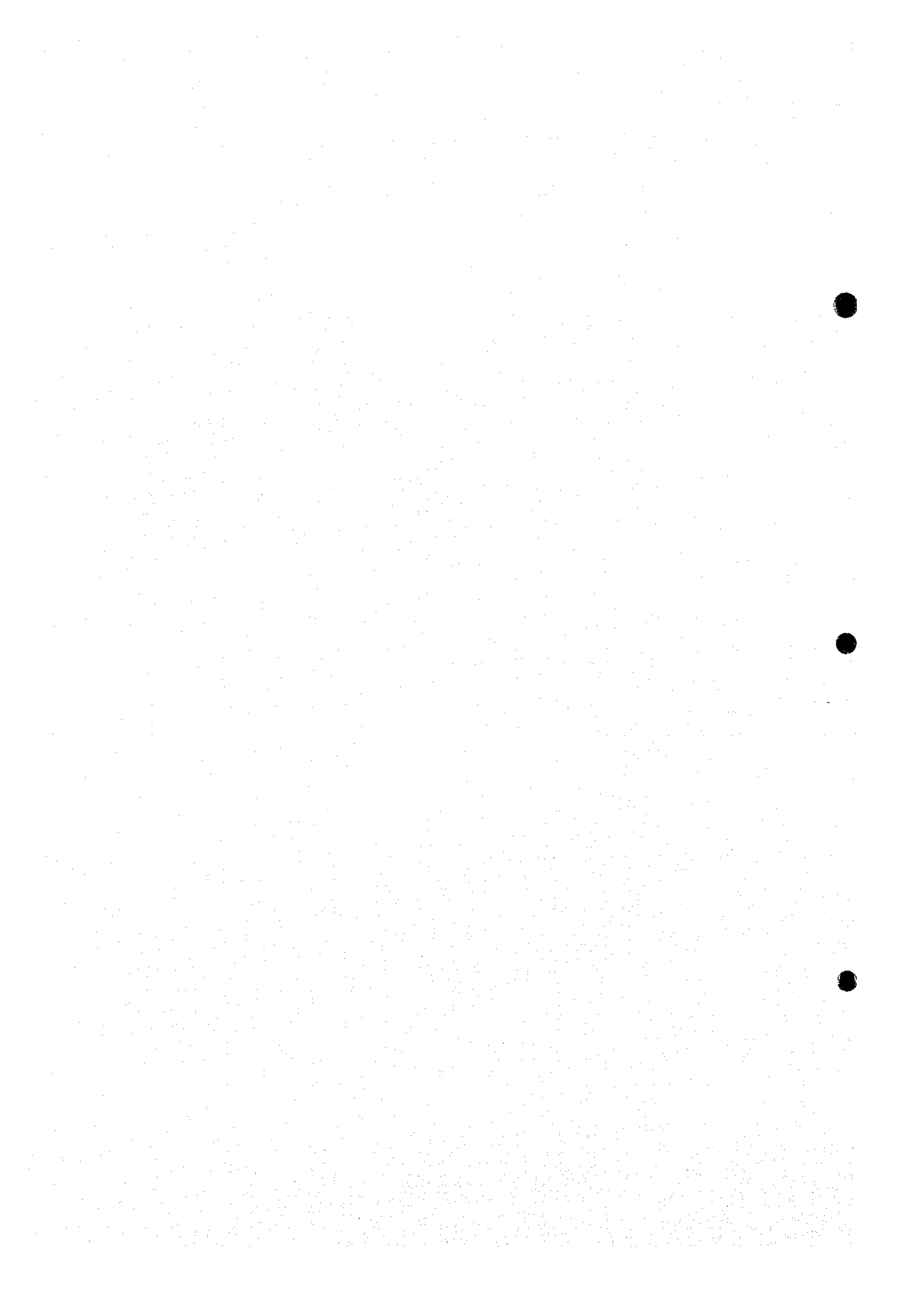


表 II - 2 - 1 オレンジ地域の酸素及び炭素同位体比測定結果一覧表

Sp.No.	Rock Name	Rock Code	$\delta^{13}\text{C}$ PDB (%)		$\delta^{18}\text{O}$ SMOW (%)	
			Calcite	Dolomite	Calcite	Dolomite
Da415	Beforsite	Mcb1	-3.7	-3.5	8.6	8.7
E 510	Beforsite	Mcd	-3.4	-3.2	13.5	11.2
Eb523	Beforsite	Mcb1	-4.4	-4.4	8.7	8.5
Fc710	Beforsite	Mcb1	-4.1	-3.9	10.5	9.8
Kc725	Beforsite	Mcb2	-5.0	-4.9	8.0	8.1
L 715	Beforsite	Mcb2	-4.9	-4.8	8.5	8.4
La200A	Beforsite / sovite	Mcd	-5.9	-5.0	7.5	9.5
Ma225	Sovite	Mcs	-5.5	-4.7	6.5	7.7
T 1A	Ankeritic beforsite	Mcd	-4.3	-5.4	14.5	8.7
T 9A	Sovite	Mcs	-5.9	-5.4	6.5	8.3
1R-1	Beforsite	Mcb1	-4.6	-4.7	8.0	8.5
3R-1	Beforsite, sulfide rich	Mcb1	-4.6	-4.5	8.5	8.5
3R-3	Beforsite, sulfide rich	Mcb1	-4.0	-4.0	8.5	8.5
3R-5	Beforsite, sulfide rich	Mcb1	-4.0	-4.0	8.2	8.2
4R-1	Beforsite, sulfide rich	Mcb1	-3.7	-3.7	8.8	8.8
6R-1	Beforsite, apatite rich	Mcb2	-4.9	-4.9	8.3	8.3
7R-1	Beforsite, apatite rich	Mcb2	-4.7	-4.8	8.2	8.2
8R-1	Beforsite, apatite rich	Mcb2	-4.7	-4.7	8.2	8.4

Rock code Mcd: carbonatite dyke

Mcb1: Central beforsite body

Mcb2: Northeast beforsite body

Mcs: sovite body

表II-2-2 オレンジ地域の地化学分析値基本統計量一覽表

Rock code	Nos.	La	Ce	Md	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Sc	Y	U	Th	Nb	Ta	Zr	Mn	Sr	P	Fe	TR203
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm
Maximum contents																					
Mcd	10	4735	9218	2905	484.4	109.0	15.3	11.0	1.3	19.6	119	26	716	848	73	113	37700	13300	5370	8.61	21657
Mfn	16	1881	3263	1830	282.9	57.5	11.5	3.5	0.5	12.3	61	21	310	539	38	1110	7464	4774	8116	8.42	8373
Mcb1	521	1338	12082	3192	563.6	107.5	21.0	3.7	0.4	39.1	130	75	666	7391	113	1130	76444	20880	25660	18.8	32716
Mcb2	241	8590	11633	2041	271.3	41.5	12.4	12.1	1.4	26.5	240	53	330	52200	26	273	15468	22050	45520	9.7	27224
Msu & Msr	72	1131	1882	870	185.1	46.9	15.8	10.5	1.2	66.2	190	210	156	5389	137	1820	8678	13214	77380	11.8	4953
Mcs	54	1338	2121	663	175.2	34.6	9.3	10.4	1.4	7.0	134	268	90	8770	67	857	10154	15640	22120	6.64	5500
Msp & Msw	43	293	749	428	117.6	87.9	30.3	84.5	11.0	10.0	1280	286	332	3170	16	700	2530	3540	87400	4.76	2763
Msh	22	4105	4485	1222	271.8	80.3	37.3	36.5	4.3	66.1	71.0	42	657	1617	87	631	10974	6270	67040	12.5	12428
Mgn	70	275	526	173	45.0	14.0	7.2	8.4	1.0	66.4	190	31	141	952	31	907	10921	4462	18240	18.30	1345
Minimum contents																					
Mcd	10	215	426	143	39.2	10.3	3.8	2.3	0.2	0.5	40	1	1	5	2	3	5860	1130	149	1.44	1109
Mfn	16	12	30	13	3.0	0.5	0.6	0.9	0.1	0.5	4	1	5	45	2	3	121	6	100	1.30	88
Mcb1	521	12	18	8	1.6	0.5	0.4	0.3	0.1	0.5	1	1	1	1	2	2	100	788	100	0.40	58
Mcb2	241	5	12	6	2.0	0.5	0.5	0.5	0.1	0.5	6	1	1	2	2	2	1005	269	100	1.21	50
Msu & Msr	72	4	9	5	2.1	0.9	0.5	0.4	0.1	0.5	1	1	1	4	2	2	246	123	100	1.06	37
Mcs	54	79	126	42	10.0	2.9	1.1	1.1	0.2	0.5	17	1	1	2	2	2	783	1640	100	0.22	341
Msp & Msw	43	11	23	8	1.8	0.9	0.5	0.5	0.1	0.5	3	1	4	2	2	4	47	139	228	0.07	66
Msh	22	31	46	13	1.6	0.8	0.5	0.4	0.1	0.5	4	1	1	22	2	3	191	57	134	0.53	121
Mgn	70	6	8	6	2.1	0.5	0.4	0.5	0.1	0.5	2	1	1	6	2	3	171	6	100	0.32	38
Arithmetic average																					
Mcd	10	2153	4186	1304	193.7	43.85	9.82	4.92	0.59	6.86	72.8	10.50	233.2	240	11.70	19.6	12958	7869	2088	5.74	9872
Mfn	16	203	359	149	31.9	7.18	2.33	1.89	0.27	4.55	24.1	8.25	37.3	293	11.63	241.2	2468	1420	2668	4.62	966
Mcb1	521	430	575	154	24.6	4.86	1.56	0.87	0.12	5.16	11.8	4.83	31.3	926	4.58	17.5	7009	5609	1287	4.53	1479
Mcb2	241	243	401	160	32.6	7.85	3.21	1.98	0.24	3.20	35.6	2.98	17.7	1548	3.34	8.2	6918	6265	9977	3.69	1092
Msu & Msr	72	246	417	155	31.4	7.84	3.11	2.76	0.35	3.17	40.0	27.31	29.4	772	23.39	293.8	2101	2182	8463	4.08	1110
Mcs	54	227	393	132	28.1	7.96	3.27	4.06	0.52	1.22	61.2	20.07	12.0	608	8.59	105.5	2334	4931	5007	1.73	1030
Msp & Msw	43	82	143	50	10.7	4.20	1.87	3.24	0.44	1.10	47.1	37.09	23.1	547	5.12	158.9	1125	1399	3561	2.47	392
Msh	22	470	560	233	44.8	13.23	5.86	7.25	0.90	11.99	126.2	11.95	72.8	282	10.50	117.8	3058	1641	8975	5.50	1850
Mgn	70	62	110	38	7.9	1.96	1.38	2.12	0.31	9.28	23.9	5.20	20.7	93	3.37	156.9	1136	354	1087	3.15	296
Geometric average																					
Mcd	10	1569	3151	888	136.6	31.52	8.97	4.20	0.49	4.61	66.6	5.02	85.5	93	5.40	7.7	10195	5950	1101	5.18	7351
Mfn	16	92	153	61	13.3	3.18	1.64	1.74	0.24	2.62	18.5	5.52	17.3	233	7.27	81.4	1696	705	1397	4.13	439
Mcb1	521	157	250	72	11.8	2.59	1.14	0.79	0.11	4.61	9.5	2.90	14.2	320	2.87	4.5	6420	5348	235	4.21	634
Mcb2	241	143	250	107	22.8	5.59	2.52	1.60	0.19	1.97	27.7	1.63	7.1	668	2.44	4.1	5557	5231	4946	3.44	708
Msu & Msr	72	121	200	75	15.6	4.14	1.97	1.90	0.25	1.32	21.3	11.20	17.8	404	13.86	135.0	1516	1302	2323	3.54	560
Mcs	54	201	346	119	24.6	7.16	3.01	3.79	0.47	0.83	57.1	5.69	6.3	164	3.95	22.5	1824	4445	2506	1.82	820
Msp & Msw	43	64	101	34	6.9	1.95	1.18	1.28	0.19	0.78	15.2	16.85	13.8	280	4.05	81.4	972	1107	1253	2.03	281
Msh	22	155	257	95	18.2	5.50	2.89	3.66	0.45	5.37	51.6	5.76	19.5	124	4.81	58.0	1539	715	2574	4.18	719
Mgn	70	52	86	30	6.4	1.51	1.18	1.79	0.26	5.94	16.0	3.24	14.0	46	2.47	89.5	813	231	572	2.27	242

Beforsite (Mcb) is subdivided into the Central beforsite (Mcb1) and the Northeast beforsite (Mcb2). Other rock codes are same as Fig. II-2-2

### 第3章 カルクフェルド地域

本地域は第1年次のみ調査を実施した。オソゴンボダイアトリーム(Osongombo Diatreme)と呼ばれる本地域のカーボナタイト複合岩体はカルクフェルド市街の西方約20kmに位置し、Osongombo 80地区、Sud-Osongombo 83地区、及びOkarumue 82地区にまたがる。

#### 3-1 調査方法

第1年次に、既存の5万分の1地形図から縮尺2,500分の1の地形図を作成し、これをもとに地化学探査の現地調査を実施した。

また、地化学試料採取の測線沿いに、地質のルートマップを作成するとともに、既存地質図と対比、補完することにより、新たな地質図を作成した。

室内試験では、地化学分析のほか、岩相に差異の認められるものは、岩石薄片及び研磨片の鏡下観察を行うとともに、必要に応じて、X線回折試験(XRD)や全岩化学分析・ノルム分析(巻末資料C-1, 2)を行った。

#### 3-2 地質調査

##### 3-2-1 地質概説

Verwoerd(1967)の地質図をもとにして、本調査結果を加えて改訂した、地質及び地質断面図を図II-3-1に、模式地質層序を図II-3-2にそれぞれ示す。

本地域の地質は、ダマラ(Damara)層群の大理石、及びダマラン(Damaran)花崗岩類を基盤として、これらを通る火山角礫岩やペフォルサイトなどのカーボナタイト複合岩体、粗粒玄武岩岩脈などからなる。

##### 3-2-2 地質各説

###### 1. ダマラ(Damara)層群(Dm)

本層群は、粒径3-5mmの等粒方解石質大理石からなる。本層群中には、北東-南西系の縞状構造が発達する。調査地域北部では、石墨を特徴的に含む白色大理石を主体とし、南部とカーボナタイト複合岩体周辺では、粒径1mm前後の青色の角閃石や桃色細粒物質を含む青白色大理石からなる。本層群中には、幅数mmから数10cmの褐色のカーボナタイト細脈が多数発達する。

鏡下の観察及びXRD試験結果では、方解石大理石のほか、一部に方解石-苦灰石大理石が存在する。桃色細粒物質はカリ長石を主としており、カーボナタイト複合岩体貫入に伴うアルカリ交代作用により生成している。

###### 2. ダマラン(Damaran)花崗岩類(Gb, Gp)

黒雲母花崗岩(Gb)及びペグマタイト質花崗岩(Gp)シルからなる。調査地域内の前後関係は不明である。花崗岩中には、褐色のカーボナタイト細脈のほか、緑色エジリン輝石細脈が認められる。

黒雲母花崗岩(Gb)は、調査地域の南西及び東側のダマラ層群中に分布する。岩体の形態は、不規則である。粒径2-5mmの石英及び桃色長石を主とし、黒雲母を随伴する。

鏡下の観察及びXRD試験結果では、石英、斜長石(曹長石)、カリ長石及び黒雲母を主要鉱物とし、ジルコンを少量含む。二次鉱物として方解石及び緑泥石が認められる。

ペグマタイト質花崗岩(Gp)は、大理石中の各所で大理石のフォリエーションに調和的な小規模シールとして多数分布する。本岩は、粒径5mm前後の石英及び桃色長石から構成される。

鏡下の観察及びXRD試験結果では、石英、斜長石(曹長石)及びカリ長石を主成分とし、方沸石、リーベック閃石あるいはエジリン輝石を少量随伴する場合がある。

### 3. 角礫岩(Br)

調査地域の北中央の稜線部に分布する。角礫化した大理石及び花崗岩からなり、礫間は褐色カーボナタイトに充填されている。

### 4. カーボナタイト複合岩体(Vb, Be, lo) (オゾンゴンボダイアトリーム)

オゾンゴンボダイアトリームと呼ばれるこのカーボナタイト複合岩体は、火山角礫岩(Vb)、ベフォルサイト(Be)及び中心部の鉄鉱石(lo)から構成され、この順序に形成された。

火山角礫岩(Vb)は、ダイアトリーム内の外周部に分布するほか、周辺のダマラ層群中にも小規模な岩体が認められる。角礫は、桃色岩片及び花崗岩岩片からなり、礫間を褐色カーボナタイトが充填している。岩片と基質のカーボナタイトの量比は、変化が大きい。後述するベフォルサイトとの境界は漸移的に変化しているため明瞭ではない場合が多い。

鏡下の観察及びXRD試験結果では、桃色岩片は、粒径1-5mmのカリ長石斑晶0.1-1mmの曹長石や、カリ長石の微斑晶からなり、粒間を細粒石英、炭酸塩鉱物や、不透明鉱物が充填する。有色鉱物としてリーベック閃石あるいはエジリン輝石質普通輝石が認められる。

ベフォルサイト(Be)は、ダイアトリームの中心部に比較的広く分布するほか、火山角礫岩中や、その外縁部に小規模に分布する。本岩の露頭は、褐色を呈し、鉄鉱物の酸化が著しい。全般に塊状を呈するが、構成鉱物の差異に起因した風化浸食の程度の差から縞状構造が明瞭となる場合がある。

鏡下の観察及びXRD試験結果では、苦灰石及びアンケライトを主要鉱物とし、その他に方解石、クトナホライト、ストロンチアナイト、石英、曹長石、カリ長石、リーベック閃石、重晶石、磁鉄鉱、赤鉄鉱、チタン鉄鉱、黄鉄鉱、白鉄鉱、磁硫鉄鉱、方鉛鉱、閃亜鉛鉱や、水酸化鉄を伴う。方鉛鉱は粒径0.2-3.5mmの他形を呈し、磁硫鉄鉱や黄鉄鉱と共存する。ノルム鉱物とそのノルム(平均値)は磁鉄鉱(3.46%)、赤鉄鉱(11.97%)、ルチル(0.17%)、燐灰石(4.29%)、フォルステライト(0.28%)、ファヤライト(0.53%)、方解石(39.97%)、苦灰石(12.19%)、菱鉄鉱(6.49%)、ストロンチアナイト(0.73%)である。

鉄鉱石(lo)は、ベフォルサイト分布域の南部に分布する。黒色から暗褐色を呈する塊状岩体である。鉄鉱物の酸化が著しい。

鏡下の観察及びXRD試験結果では、石英、方解石、苦灰石、アンケライト、ストロンチアナイト、磁鉄鉱、赤鉄鉱、針鉄鉱や、重晶石が検出された。

## 5. 粗粒玄武岩岩脈(Dd)

本岩は、幅1m前後の岩脈とし、ダマラ層群の大理石やカーボナタイト複合岩体中に分布する。黒色から暗緑灰色を呈する。

### 3-3 地化学探査

#### 3-3-1 探査手法

地化学探査用試料は岩石とし、採取間隔はカーボナタイト分布域では、50m×75mグリットとし、その周辺では100m×150mグリットとした。

地化学分析成分は、La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Sc, Y, U, Th, Nb, Ta, Zr, Mn, Sr, P, Feの19成分である。

#### 3-3-2 調査結果

岩石地化学探査の解析図を図Ⅱ-3-3に、希土類元素パターンを図Ⅱ-3-4に、地化学分析値の基本統計量を表Ⅱ-3-1に、地化学分析結果一覧表を巻末資料C-3に示す。また、地化学分析値の度数分布と累積度数分布を巻末資料C-4に、散布図を巻末資料C-5に示す。各成分の特徴は下記のとおりである。

##### 1. 希土類元素 (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb及びLu)

希土類元素は地球化学的に類似した挙動を示す。希土類酸化物はカーボナタイト複合岩体で高く、周辺岩石で低い。カーボナタイト複合岩体のうち火山角礫岩(Vb)で最高3,003ppm、平均1,283ppm、ベフォルサイト(Be)で最高13,600ppm、平均2,782ppm、鉄鉱石(Lo)で最高5,372ppm、平均2,932ppmとなり、ベフォルサイト(Be)や鉄鉱石(Lo)に最も濃集している。

1,000ppm以上の希土類酸化物(R2O3)は、カーボナタイト複合岩体の火山角礫岩(Vb)やベフォルサイト(Be)に濃集する。2,000ppm以上の濃集部は、ベフォルサイト(Be)に分布する。

本地域のベフォルサイト(Be)の希土類酸化物は、オレンジ地域のソーバイト(Mcs)やベフォルサイト岩体(Mcb1, 2)よりも高濃度である。本地域のベフォルサイト中の平均濃度は2,782ppmで、オレンジ地域のソーバイト(Mcs)では1,029ppm、ベフォルサイト中央岩体(Mcb1)では1,665ppm、ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)では1,252ppmである。

カルクフェルド地域のベフォルサイト(Be)はオレンジ地域のベフォルサイト両岩体(Mcb1, Mcb2)より、希土類元素のうち特に、中希土類(Sm, Eu, Tb,)が2~3倍富む。

## 2. Sc及びY

ScとYは、カーボナタイト複合岩体の火山角礫岩(Vb)や、ベフォルサイト(Be)の北西部付近に、10ppm以上のわずかな濃集を示すが、その他では、注目すべき濃集部はない。オレンジ地域のベフォルサイト両岩体(Mcb1, 2)のよりわずかに富む。

## 3. U及びTh

Thは、カーボナタイト複合岩体の火山角礫岩(Vb)やベフォルサイト(Be)、鉄鉱石(Lo)で、100ppm以上の高濃度を示し、特にベフォルサイト(Be)や鉄鉱石(Lo)中で1,000ppm以上を示すところが散見される。オレンジ地域のベフォルサイト両岩体(Mcb1, 2)と比較して、10倍以上濃集している。

なお、本地域の北東約1.2kmに位置するカーボナタイトの鉄鉱石では、 $\text{ThO}_2$ が約0.5%含まれており(Verwoerd, 1967)、類似した特徴を示す。

## 4. Nb及びTa

Nbは、カーボナタイト複合岩体の北部周縁部に位置する火山角礫岩(Vb)で、100ppm以上の濃集が認められる。また、西縁の火山角礫岩(Vb)で、最大1,840ppmの濃集部が確認された。オレンジ地域のカーボナタイトと比較して、低濃度である。

Taはカーボナタイト複合岩体でわずかに高く、周辺岩石で低い。オレンジ地域のカーボナタイトより5.3~12ppmと多く含まれるが、オレンジ地域と同様に濃集度は低い。

## 5. Zr

Zrの濃度は、火山角礫岩(Vb)や花崗岩類(Gp, Gb)で相対的に高濃度となる。火山角礫岩では最高176ppm, 平均55.1ppm, 花崗岩類最高95~124ppm, 平均56.8~81.8ppmを示し、ベフォルサイト(Be)内では、特徴的な濃集は認められない。

ベフォルサイト(Be)では最高64ppm, 平均14.8ppmであり、オレンジ地域のベフォルサイト両岩体(Mcb1, 2)とは同程度の濃集度である。

## 6. Mn

Mnは、カーボナタイト複合岩体の鉄鉱石(Lo)やベフォルサイト(Be)で高濃度である。鉄鉱石では最高40,300ppm, 平均37,867ppm, ベフォルサイトで最高29,900ppm, 平均13,684ppmを示す。

5,000ppm以上の高濃度部はカーボナタイト複合岩体の中央部分布し、特に10,000ppm以上の高濃度部はベフォルサイト、鉄鉱石部やこれらの周辺に集中している。

このベフォルサイト(Be)中のMn濃度は、オレンジ地域のベフォルサイト両岩体(Mcb1, 2)より高濃度である。

## 7. Sr

Srは、カーボナタイト複合岩体の鉄鉱石( Io )やベフォルサイト( Be )で高濃度である。鉄鉱石では最高14,400ppm, 平均5,263ppm, ベフォルサイトで最高10,900ppm, 平均2,352ppmを示す。

5,000ppm以上の高濃集部はベフォルサイトに集中する。このベフォルサイト( Be )中のSr濃度は、オレンジ地域ベフォルサイト両岩体( Mcb1, 2 )より低濃度である。

## 8. P

Pは、カーボナタイト複合岩体のベフォルサイト( Be )や火山角礫岩( Vb )で高濃度である。ベフォルサイトで最高37,800ppm, 平均4,672ppm, 火山角礫岩で最高9,790ppm, 平均2,455ppmである。3,000ppm以上の高濃度部はカーボナタイト複合岩体及びその周辺の大理石に認められる。Pが高濃度を示す大理石はカーボナタイト細脈を伴う。

このベフォルサイト( Be )のPは、オレンジ地域のベフォルサイト北東岩体( Mcb2 )より低濃度であり、ベフォルサイト中央岩体( Mcb1 )より高濃度である。

## 9. Fe

Feは、カーボナタイト複合岩体で高濃度である。火山角礫岩( Vb )では最高30.40%, 平均7.56%である。ベフォルサイト( Be )では最高32.50%, 平均10.86%, 鉄鉱石( Io )では最高37.82%, 平均34.85%である。カーボナタイト複合岩体は後期生成岩体ほど鉄分に富む。

このベフォルサイト( Be )のFeは、オレンジ地域のベフォルサイト両岩体( Mcb1, 2 )より、高濃度である。

### 3-4 考察

カルクフェルド地域では、カーボナタイト複合岩体( オゾンゴンボダイアトリーム )がダマラ層群の大理石に貫入している。このカーボナタイト複合岩体は火山角礫岩( Vb ), ベフォルサイト( Be ), 鉄鉱石( Io )からなり、この順序に形成されている。

有用元素はこのカーボナタイト複合岩体に濃集している。濃集度の高いものは、希土類元素( La, Ce, Nd など )と Th, Mn, Fe であり、特に、後期に形成されたベフォルサイト( Be )と鉄鉱石( Io )に濃集している。しかし、鉄鉱石( Io )部は分布範囲が狭い。

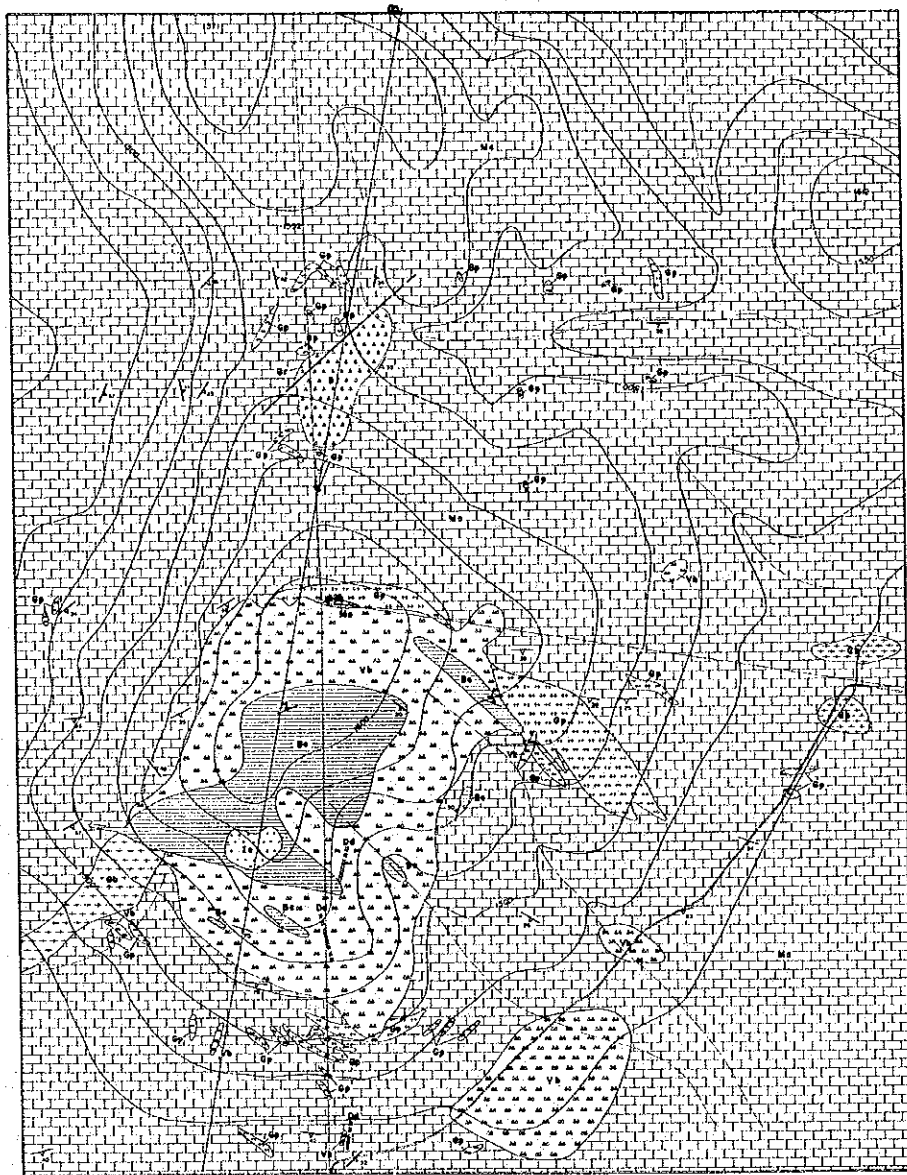
オレンジ地域ベフォルサイト両岩体のノルムと比較すると、磁鉄鉱、赤鉄鉱、ルチル、菱鉄鉱はカルクフェルド地域のベフォルサイトで富み、方解石、菱苦土石、ストロンチアナイトはオレンジ地域のベフォルサイト両岩体で富む。燐灰石はベフォルサイト北東岩体と同程度含まれ、ベフォルサイト中央岩体より富む。本地域のベフォルサイトが、オレンジ地域のベフォルサイトより鉄を含む鉱物を多く含むことに対応している。炭酸塩鉱物の量比では、オレンジ地域のベフォルサイトは菱苦土石成分に富み、カルクフェルド地域のベフォルサイトは方解石と菱鉄鉱成分に富む。

希土類酸化物( R2O3 )はベフォルサイト( Be )で最高13,600ppm, 平均2,782ppm, 鉄鉱石( Io )で最高5,



372ppm, 平均2,932ppmである。Thはベフォルサイト(Be)で最高2,290ppm, 平均356ppm, 鉄鉱石(10)で最高2,260ppm, 平均885ppmである。Mnはベフォルサイト(Be)で最高29,900ppm, 平均13,684ppm, 鉄鉱石(10)で最高40,300ppm, 平均37,867ppmである。Feはベフォルサイト(Be)で最高32.50%, 平均10.86%, 鉄鉱石(10)では最高37.82%, 平均34.85%である。希土類元素は鉄鉱石(10)よりベフォルサイト(Be)で高濃度であるが, その他のTh, Mn, Feは鉄鉱石(10)で高濃度である。

カルクフェルド地域のベフォルサイト(Be)とオレンジ地域のベフォルサイト両岩体とを比較すると, 希土類元素はややカルクフェルド地域のベフォルサイト(Be)で多く, 特に中希土類元素(Sm, Eu, Tb)の濃集度が高い。その他の元素ではTh, Ta, Mn, Feがカルクフェルド地域のベフォルサイト(Be)で高濃度となり, NbやSrがオレンジ地域のベフォルサイト両岩体(Mcb1, 2)で高濃度となる。UやZrは両地域同程度である。カルクフェルド地域のベフォルサイト(Be)中のPは, オレンジ地域のベフォルサイト中央岩体(Mcb1)のより高濃度であるが, ベフォルサイト北東岩体(Mcb2)のより低濃度である。



- Dolerite
- Iron ore
- Siderite
- Volcanic breccia
- Brecciated granite and Omara marble
- Pegmatitic granite
- Biotite granite
- Marble
- Dip and strike of Geological boundary
- Dip and strike of banding structure in carbonatite
- Dip and strike of foliation in marble
- Fault
- Track
- Dry river

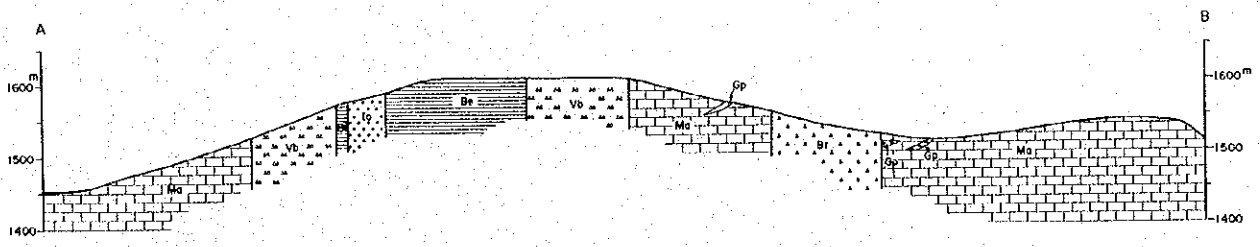
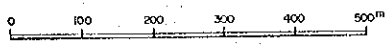


図 II-3-1 カルクフェルド地域の地質及び地質断面図

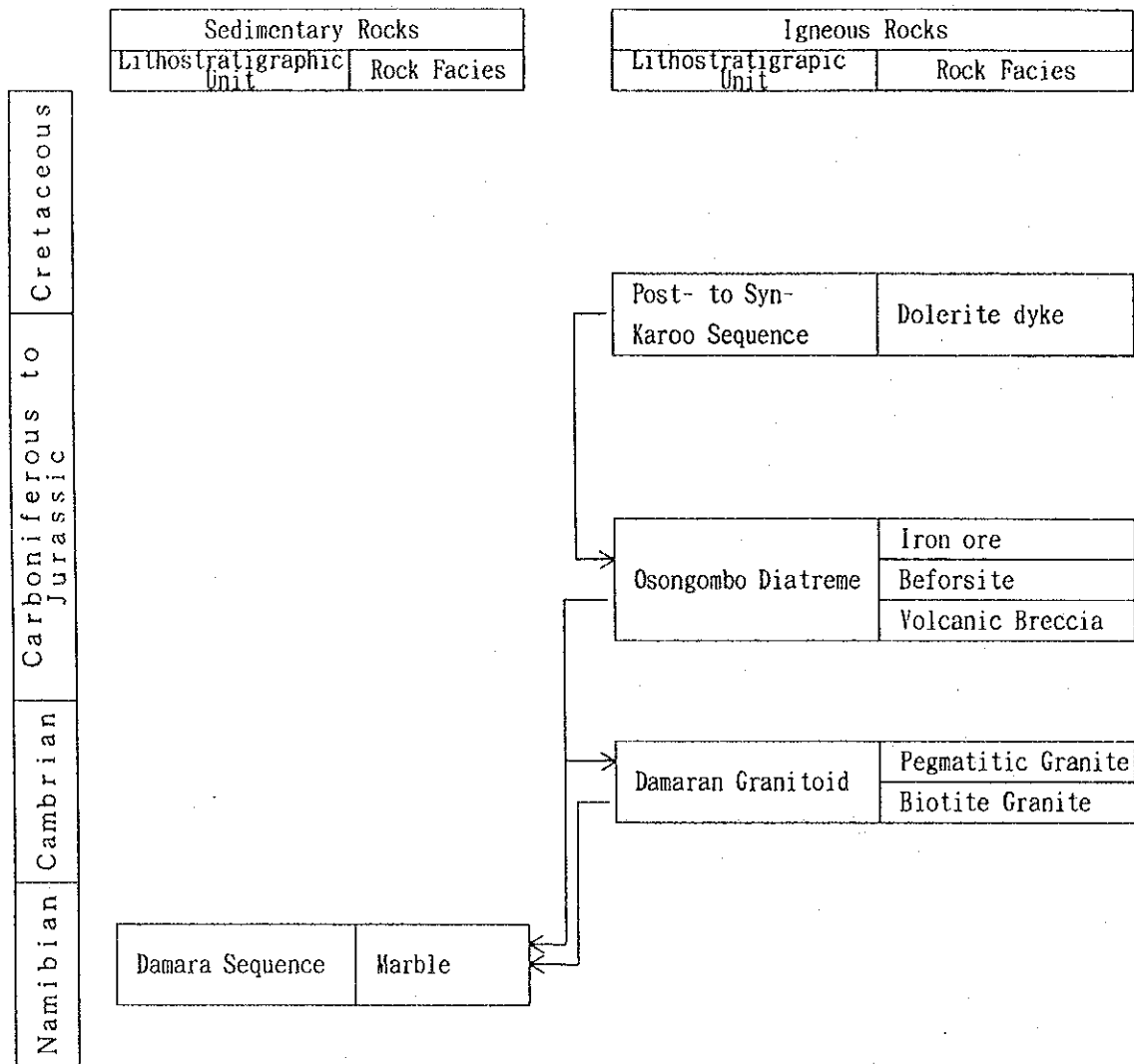


図 II - 3 - 2 カルクフェルド地域の模式層序

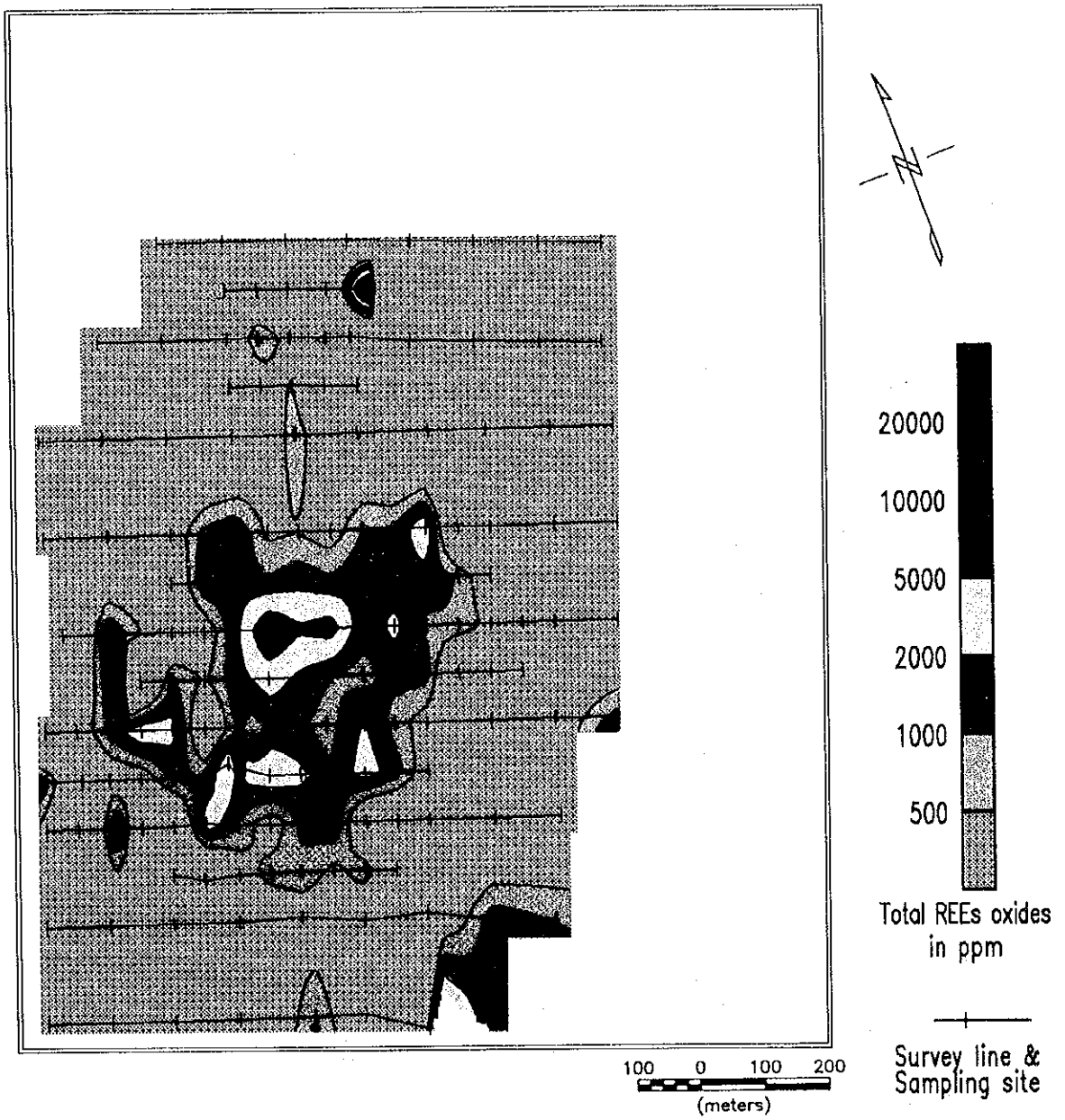
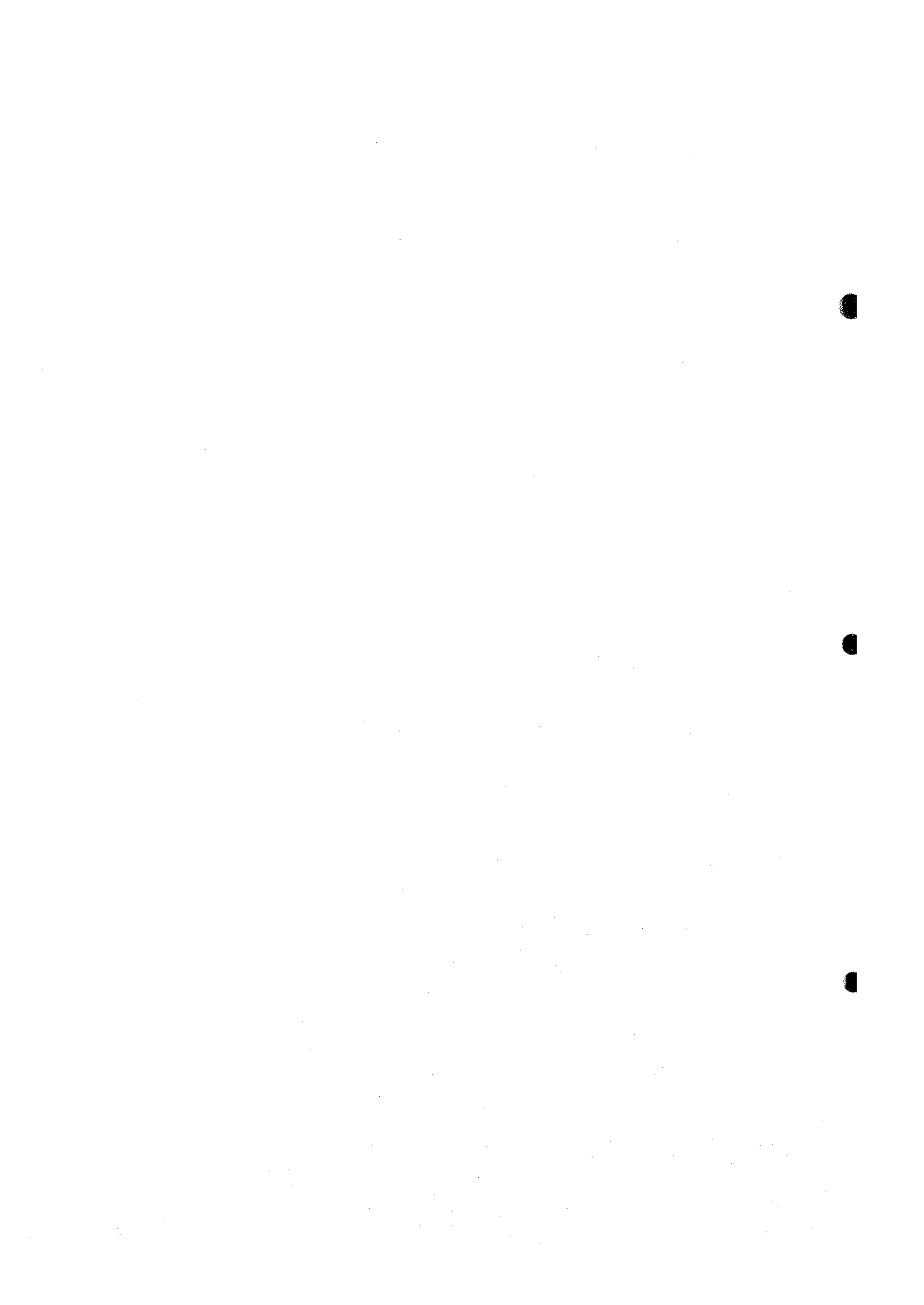


図 II - 3 - 3 カルクフェルド地域の地化学探査解析図 (酸化物に換算した全 REE s)



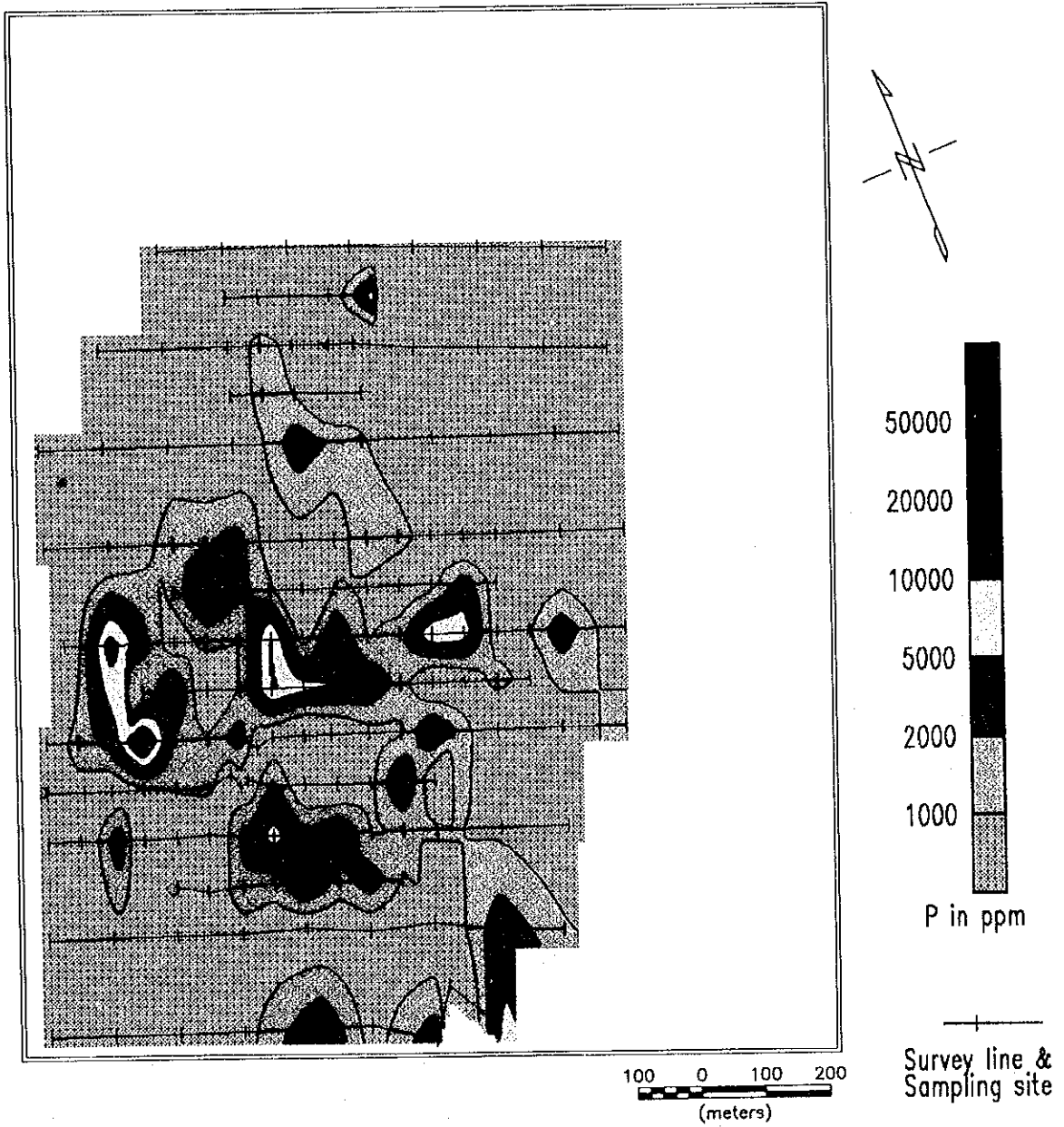
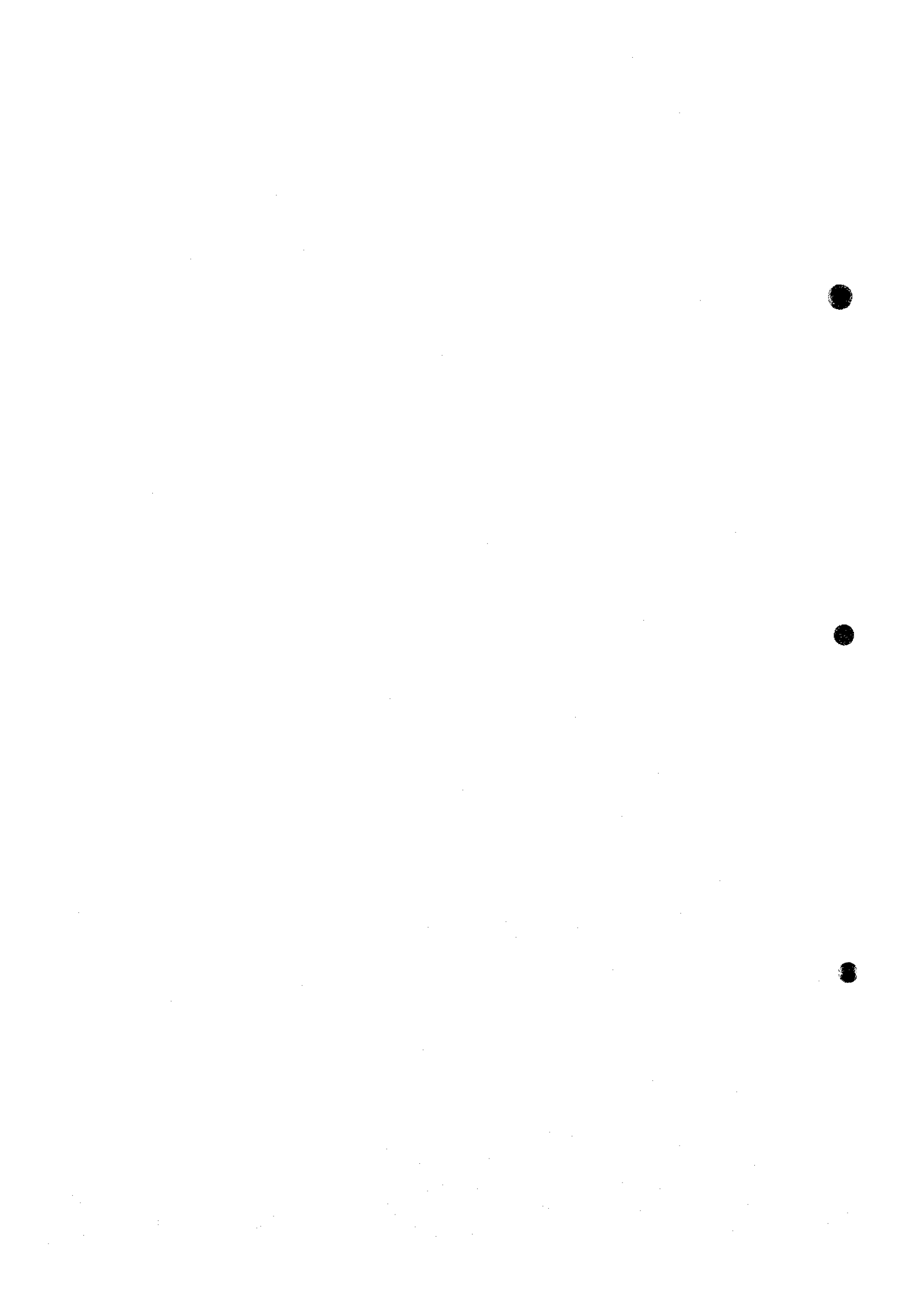
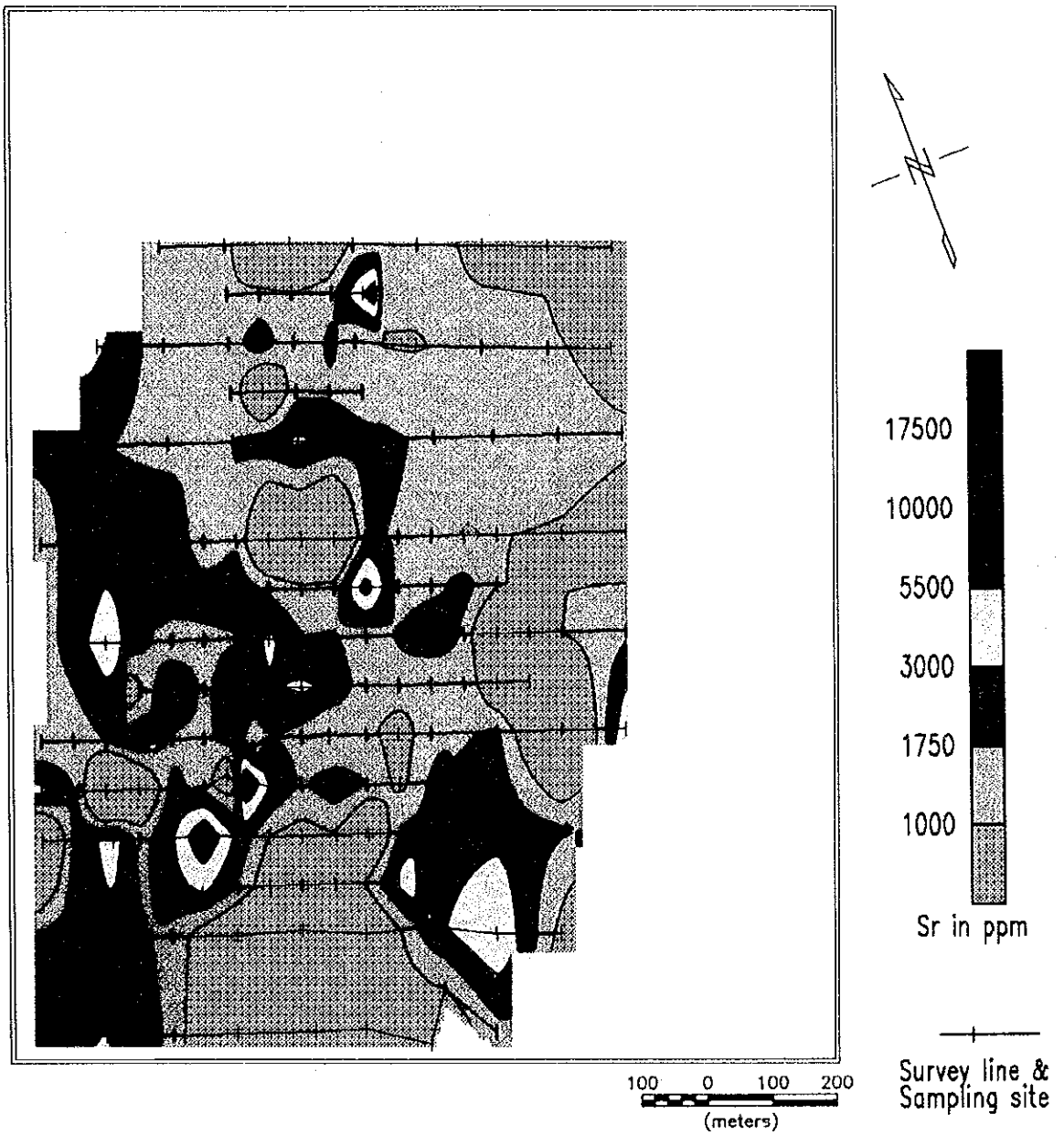


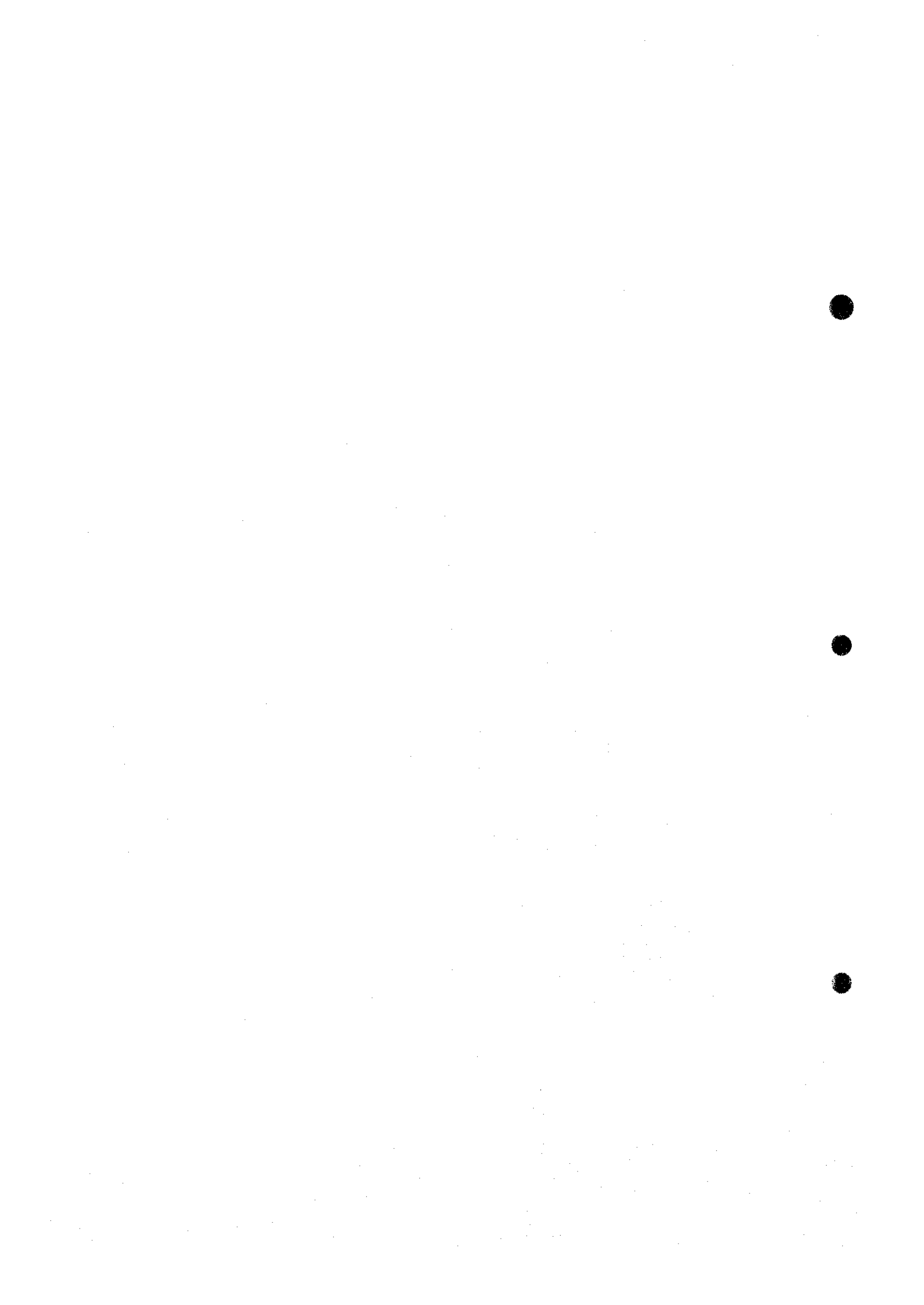
図 II-3-3 カルクフェルド地域の地化学探査解析図 (P)





図Ⅱ-3-3 カルクフェルド地域の地化学探査解析図 (Sr)





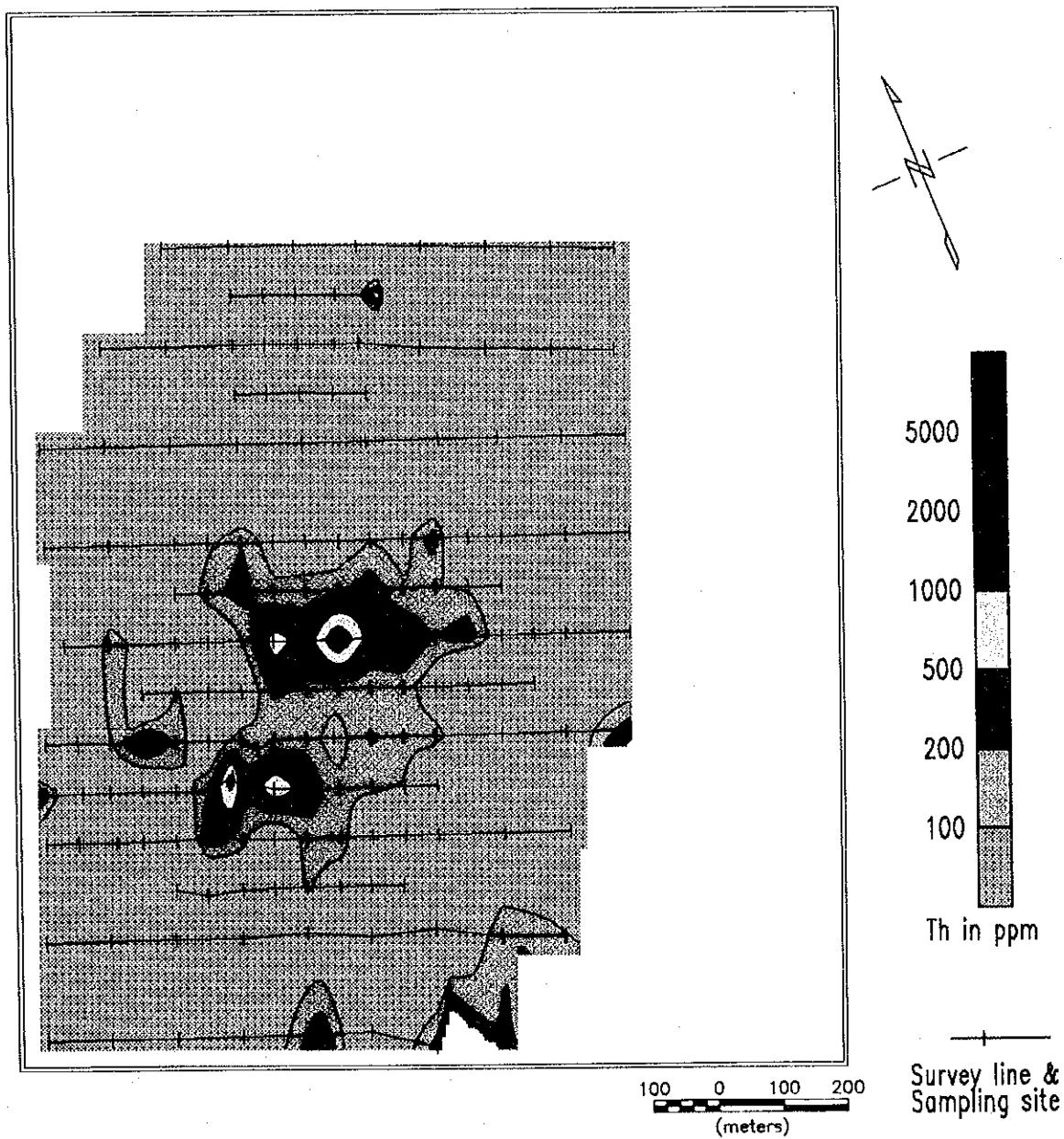
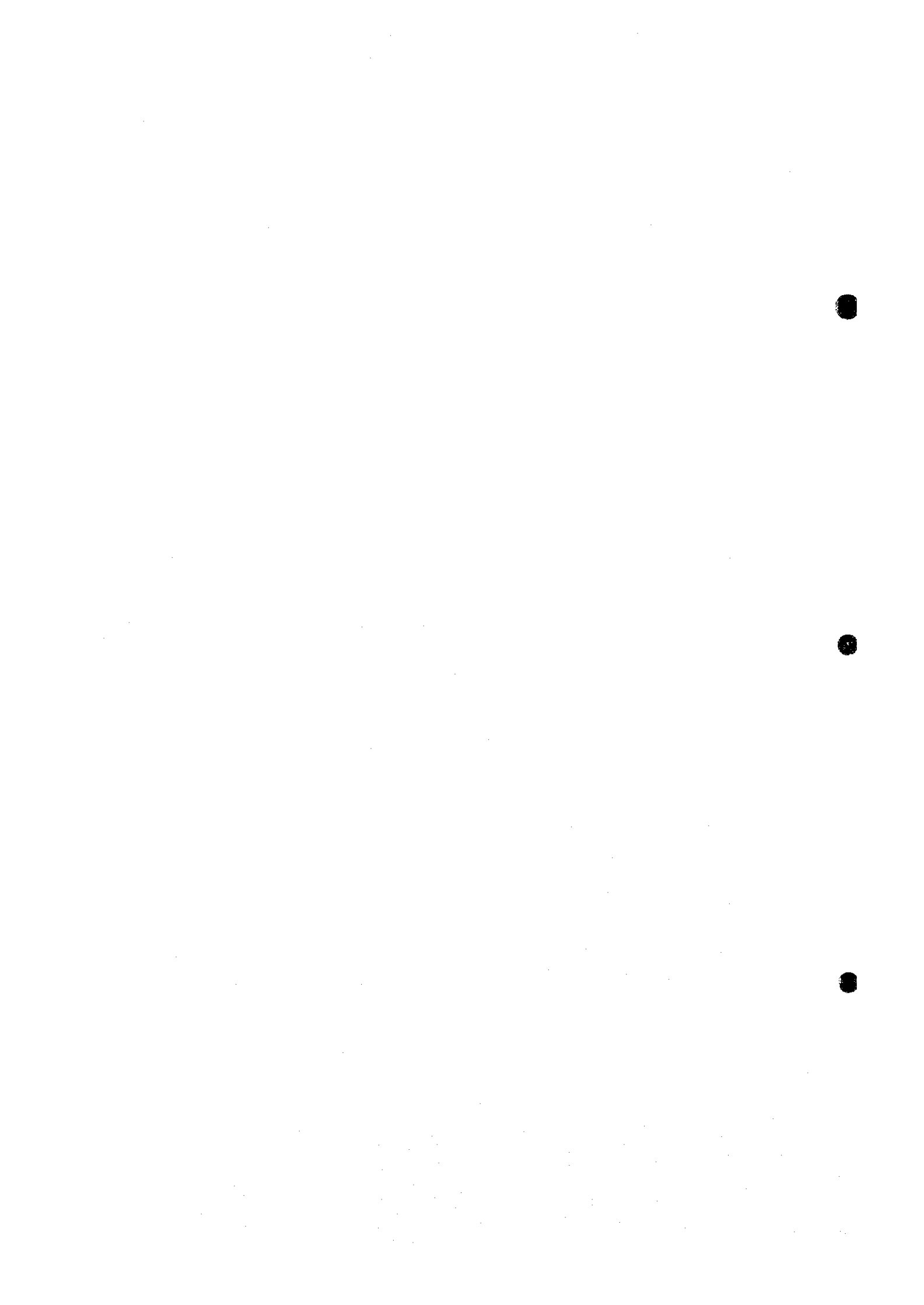
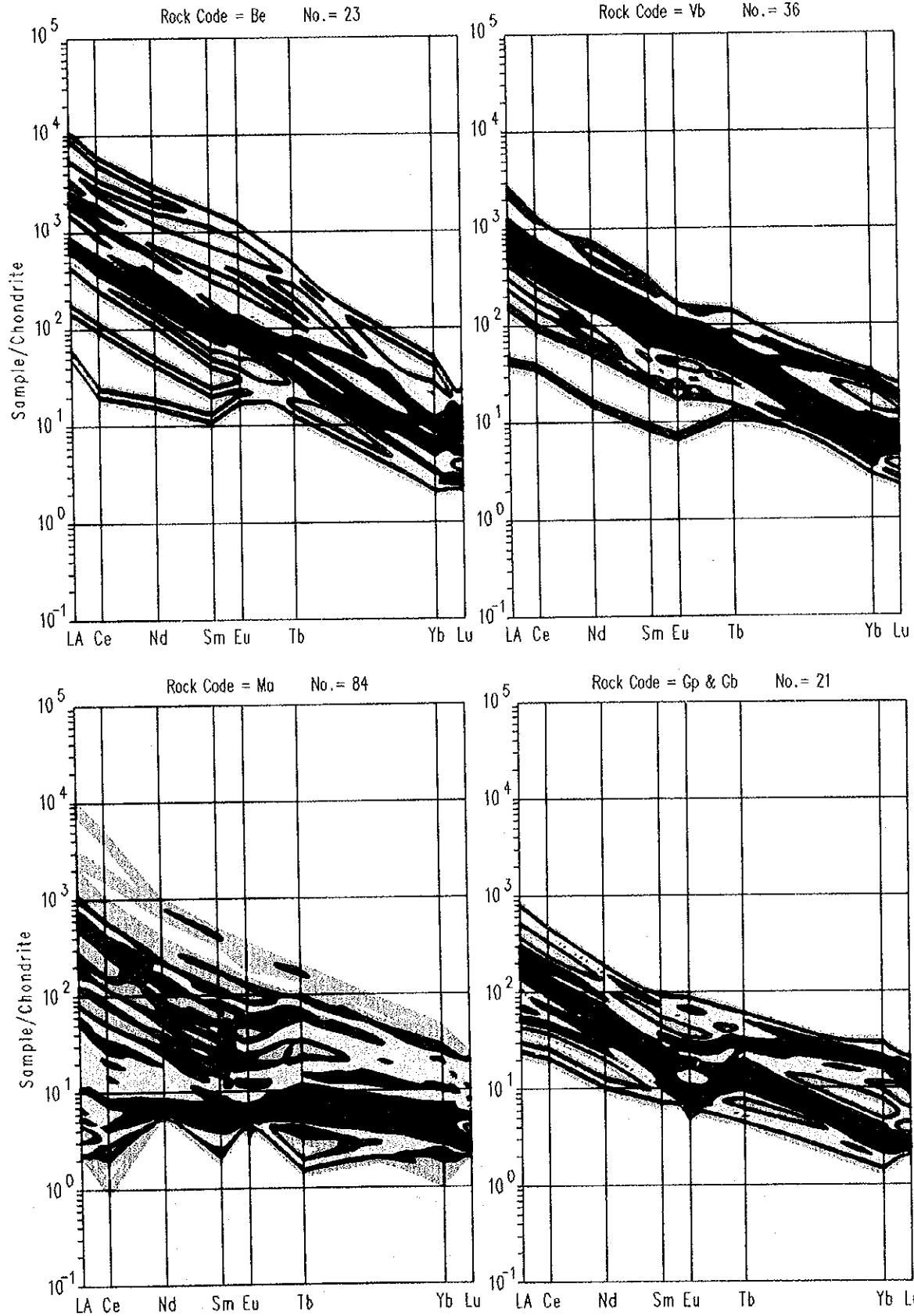


図 II - 3 - 3 カルクフェルド地域の地化学探査解析図 (Th)





図II-3-4 カルクフェルド地域の希土類元素パターン

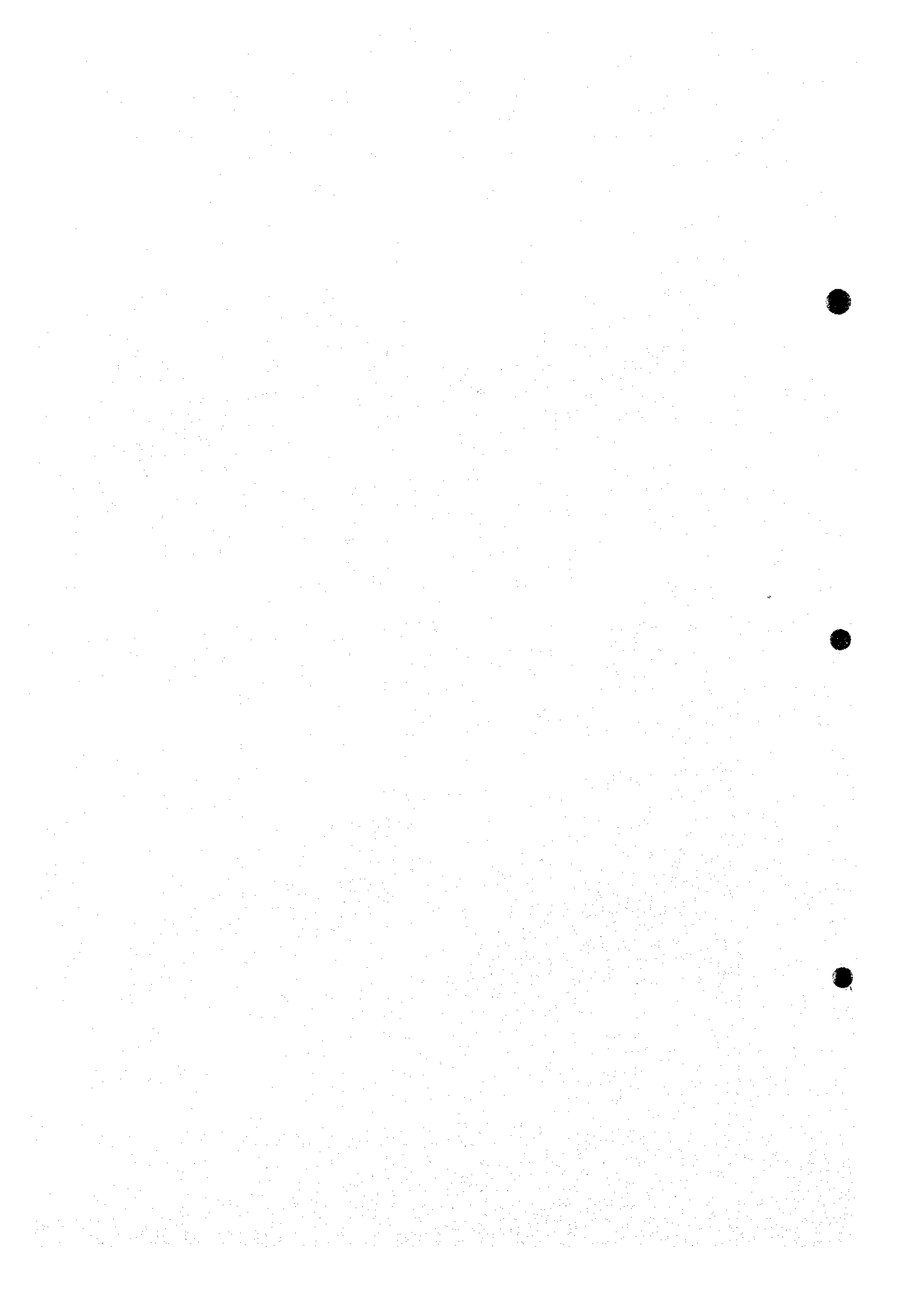


表 II-3-1 カルクフェルド地域の地化学分析値基本統計量一覽表

Rock Code Nos.	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Sc	Y	U	Th	Nb	Ta	Zr	Mn	Sr	P	Fe
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
Maximum contents																			
Io	3	889	1540	300.0	70.2	29.3	6.0	0.9	4.8	76	3	2260	9	32	19	40300	14400	559	37.82
Be	23	3502	5042	330.0	90.0	24.0	11.0	0.8	9.1	326	17	2290	1840	28	64	29900	10900	37800	32.50
Vb	36	926	1200	478	64.9	12.6	7.5	0.8	14.9	70	79	430	498	29	176	16600	8490	9790	30.40
Gp	17	259	374	111	18.0	6.6	3.0	0.7	7.2	70	19	282	226	3	124	12000	1840	3490	7.69
Gb	4	116	187	59	7.9	2.3	1.3	0.4	3.2	11	6	45	102	2	95	1730	334	870	3.74
Ma	84	3090	4150	94.0	26.0	10.0	10.0	0.8	4.1	149	11	352	223	7	72	16100	5540	16300	8.55
Minimum contents																			
Io	3	133	137	20.0	3.1	3.6	4.2	0.8	0.5	14	2	123	< 2	< 2	< 3	36300	442	408	31.92
Be	23	20	21	2.7	1.6	0.8	0.6	< 0.1	< 0.5	4	< 1	32	< 2	< 2	< 3	1870	879	298	4.90
Vb	36	16	36	2.0	0.6	0.7	0.8	< 0.1	< 0.5	4	< 1	16	< 2	< 2	< 3	1610	286	144	1.00
Gp	17	10	22	1.8	< 0.5	0.3	0.4	< 0.1	0.6	6	< 1	8	< 2	< 2	17	87	57	210	0.44
Gb	4	57	100	2.9	< 0.5	0.6	0.6	< 0.1	1.3	7	< 1	20	6	2	71	208	99	410	1.06
Ma	84	1	1	0.5	0.3	< 0.1	0.3	< 0.1	0.3	1	< 1	1	2	2	3	45	583	180	0.03
Arithmetic average																			
Io	3	556	809	641	153.3	30.3	16.4	0.8	2.4	41.0	2.3	886.7	6.0	12.0	8.3	37867	5263	477	34.85
Be	23	672	1069	368	64.2	18.2	5.8	0.3	4.1	47.0	3.6	356.0	145.1	8.9	14.8	13684	2352	4672	10.86
Vb	36	324	490	162	23.7	6.3	3.0	0.3	5.0	20.6	7.1	146.9	125.1	5.3	55.1	6828	1852	2455	7.56
Gp	17	74	127	43	6.6	2.0	1.3	0.3	3.0	18.5	4.2	55.2	57.4	2.1	56.8	1377	373	983	2.87
Gb	4	73	123	37	4.8	1.1	0.9	0.2	2.2	9.3	3.5	28.3	37.5	2.0	81.8	941	240	628	2.08
Ma	84	102	148	40	6.8	2.0	1.2	0.2	1.2	19.4	2.0	34.6	23.8	2.1	9.5	1385	1819	1010	1.08
Geometric average																			
Io	3	424	541	94.4	15.6	11.9	5.2	0.8	1.6	32.7	2.3	423.9	5.0	5.0	5.6	37827	1820	473	34.76
Be	23	415	553	222	34.5	10.3	3.8	0.3	3.3	25.2	2.4	212.2	36.3	6.2	7.9	11253	1961	1742	9.71
Vb	36	266	417	139	19.9	5.5	2.6	0.2	3.7	17.1	3.3	117.6	74.6	3.8	36.4	6061	1468	1613	6.73
Gp	17	53	97	35	5.3	1.5	1.0	0.2	2.7	12.6	3.0	36.6	35.8	2.0	48.6	489	266	759	2.02
Gb	4	70	119	35	4.5	0.9	1.1	0.1	2.0	9.1	2.8	26.7	21.4	2.0	81.3	621	215	599	1.80
Ma	84	13	22	13	2.4	0.9	0.7	0.2	0.9	11.3	1.5	6.3	7.3	2.0	6.0	510	1637	606	0.49

Rock codes are same as in Fig.II-3-1.



## 第 III 部

### 結論及び提言





### 第Ⅲ部 結論及び提言

#### 第1章 結論

##### 1-1 地質構造、鉍化作用の特性と鉍化規制について

###### オレンジ地域

カーボナタイト複合岩体は、カンブリア系ナマ層群を貫いている。この岩体は、北東-南西方に直線的に配列する、Kuboos-Bremen構造線上のアルカリ貫入岩体群の一部を構成する。また、このカーボナタイト複合岩体は、Kuboos-Bremen構造線とpost-Karoo断層の交差部で形成されている。

カーボナタイト複合岩体は閃長岩類、ソーバイト、ベフォルサイト、カーボナタイト岩脈などからなり、この順序で貫入している。重希土類(Yb)、及びこれと類似の化学的挙動を示すYと、液相に濃集しやすいThとの関係(Th/Yb-Y/Yb図)から、ベフォルサイト中央岩体でThの含有量が幅があるものの、Thはソーバイトで最も少なく、ベフォルサイト両岩体、カーボナタイト岩脈の順に多くなり、貫入順序と対応してThが濃集する。

ベフォルサイトの主要鉍物は苦灰石、アンケライトであり、随伴鉍物は方解石、菱鉄鉍、マンガン方解石、燐灰石、重晶石、磁鉄鉍、赤鉄鉍、黄鉄鉍、白鉄鉍、磁硫鉄鉍、閃亜鉛鉍、方鉛鉍やバスタネサイト、モナザイト、シンケザイト、パイロクロアなどのLa, Ce, Nd, Nb鉍物からなる。希土類元素やNb, Pを伴う鉍物は、カーボナタイト複合岩体のうち、後期貫入のベフォルサイト中央岩体、ベフォルサイト北東岩体やカーボナタイト岩脈に濃集する傾向にある。

###### カルクフェルド地域

本地域とその周辺には同一岩石区、ダマランドアルカリ岩区、に属する4つのカーボナタイト複合岩体が、北東-南西方向の構造線沿いに配列している。本地域のOsongombo岩体が南西端に位置し、順次北東側に、Kalkfeld岩体、Ondurakorume岩体、Okorusu岩体が配列している。これらカーボナタイト複合岩体は、先カンブリア系ダマラ層群の大理石に貫入している。

本地域のカーボナタイト複合岩体は火山角礫岩、ベフォルサイト、鉄鉍石からなり、この順序に形成されている。

ベフォルサイトの主要鉍物は苦灰石、アンケライトであり、随伴鉍物は方解石、マンガン方解石、菱鉄鉍、ストロンチアナイト、燐灰石、針鉄鉍、赤鉄鉍や、パイロクロアなどのNb鉍物からなる。希土類元素やTh, Fe, Mnを伴う鉍物は、カーボナタイト複合岩体のうち、後期貫入のベフォルサイトや鉄鉍石に濃集する傾向にある。

##### 1-2 地化学異常と鉍化作用との関係について

###### オレンジ地域

カーボナタイト複合岩体のうちベフォルサイトには、他の岩体より、希土類元素(La, Ce, Nd)やNb, Mn, Sr, Pが濃集する。希土類元素(La, Nd, Ceなど)はベフォルサイト中央・北東両岩体の外

周部に濃集し、岩体中央部では少ない。Nbはベフォルサイト両岩体のそれぞれ中央部で濃集し、これら岩体の外周部に濃集する希土類元素とは、分布状態が対象的である。Pはベフォルサイト中央岩体の外周部、ベフォルサイト北東岩体、及びその周辺部に濃集するが、ベフォルサイト中央岩体の中央部には濃集していない。

ソーバイトにも希土類元素(La, Ce, Nd)やNb, Mn, Sr, Pの濃集が認められるが、Sr以外はベフォルサイト両岩体より低い。閃長岩類は、ベフォルサイト両岩体やソーバイトと比較し、これら元素の含有量が少ない。

カーボナタイト複合岩体は、古い順から閃長岩類、ソーバイト、ベフォルサイト、カーボナタイト岩脈となり、地化学探査によれば、後期の岩体ほど希土類元素やNbを濃集している。鉱物的にはカーボナタイト複合岩体には磷灰石、重晶石や、パイロクロア、シンケザイト、モナザイトなどのLa, Ce, Nd, Nb鉱物を伴い、地化学探査による元素の濃集と対応している。カルクフェルド地域のカーボナタイトに較べNbやPに富む。

#### カルクフェルド地域

カーボナタイト複合岩体には、希土類元素(La, Ce, Nd)や, Th, Mn, Fe, Pを多く含む。特に、希土類元素(La, Ce, Nd)やTh, Mn, Feは、カーボナタイト複合岩体のうちベフォルサイトや鉄鉱部に濃集している。Pは火山角礫岩やベフォルサイトに濃集している。

カーボナタイト複合岩体の貫入順序は、古い順から、火山角礫岩、ベフォルサイト、鉄鉱石となり、地化学探査においても後期貫入のベフォルサイトや鉄鉱石に、希土類元素(La, Ce, Nd)やTh, Mn, Feを濃集している。カーボナタイトには炭酸塩鉱物、鉄鉱物、パイロクロアなどが認められ、地化学探査による元素の濃集と対応している。オレンジ地域のカーボナタイト複合岩体に比べ、希土類元素のなかでも中希土類(Sm, Eu, Tb)や, Th, Mn, Feに富む。

### 1-3 鉱床賦存のポテンシャル

#### オレンジ地域

カーボナタイト複合岩体は貫入形態に基づき、ダイアトリーム状、岩栓状、円錐岩床、環状岩脈に分けられる。オレンジ地域のカーボナタイト複合岩体は岩栓状形態を有する。複合岩体の露出面積は2km<sup>2</sup>である。

また、カーボナタイト複合岩体の形態は侵食の深さによって、火山円錐型、火山岩頸型、浅所深成型、深所深成型に分けられる。つまり、火山円錐型はほとんど侵食のされていない本来の形態をとどめており、深所深成型になるにつれ、より侵食された深部の内部構造を観察していることになる。オレンジ地域のカーボナタイト複合岩体は、貫入形態に基づけば岩栓状で、侵食形態に基づけば浅所深成型であり、貫入岩体上部がすでに侵食されている。

カーボナタイトの形態や深度と組成を、類似の岩体と比較すると、オレンジ地域の岩体は、Ondurakorume複合岩体のように希土類元素(La, Ce, Nd)やNb, Pに富む岩体に類似し、地化学探

査による希土類元素(La, Ce, Nd)やNb, P, Mn, Srの濃集とも対応している。

これら有用元素はカーボナタイト複合岩体のうち、ペフォルサイト中央岩体(Mcb1)とペフォルサイト北東岩体(Mcb2)に比較的濃集している。

しかし、これら有用元素は遍在性があり、地下での連続性に乏しい。つまり、ボーリングMJN0-1, 2地点は、ペフォルサイト中央岩体(Mcb1)の外周部に位置し、地表では希土類元素やPが濃集する。地下でも希土類元素は濃集しているが、その連続性に乏しい。Pも高濃度と低濃度部が繰り返し、濃度のバラツキが大きい。ボーリングMJN0-3, 4, 5地点はペフォルサイト中央岩体(Mcb1)の中央部に位置し、地表ではNbが高濃度であるが、希土類元素は低濃度である。地下ではNbが高濃度部と低濃度部が繰り返し、濃度のバラツキが大きい。希土類元素も地下で増加する傾向はない。ボーリングMJN0-6, 7, 8はペフォルサイト北東岩体(Mcb2)中央部に位置し、地表ではPやNbが高濃度である。地下でもPとNbの高濃度部が多い傾向にある。

このように、地化学探査とボーリング調査から、有用元素のうち希土類元素はペフォルサイト中央岩体(Mcb1)とペフォルサイト北東岩体(Mcb2)の外周部に濃集し、これが地下にも連続するようであるが、その濃度は地表と同程度である。Nbはペフォルサイト中央岩体(Mcb1)とペフォルサイト北東岩体(Mcb2)の中央部で濃集するが、地下では高濃度部は断続的に出現し、その濃度は地表と同程度である。Pはペフォルサイト北東岩体(Mcb2)との地表に濃集し、地下でも同程度で濃集している。これらのことから、希土類元素やNb, Pなどの有用元素の地下での賦存状況は地表と同程度であり、濃度の飛躍的な増加は望めない。

ペフォルサイト両岩体(Mcb1, Mcb2)に含まれる希土類酸化物(R2O3)は、地表で最大2.7~3.2%、平均で0.12~0.16%、地下では最大で0.4~2.7%、平均0.1%以下である。地表と地下を合わせた平均は0.11~0.15%である。Nbは地表で最大0.5~0.6%、平均0.08~0.12%である。地下では最大0.7~5.2%、平均0.1~0.2%である。地表と地下を合わせた平均は0.09~0.15%である。Pは地表で最大3.4%、平均0.8%、地下で最大4.5%、平均1.2%である。地表と地下を合わせた平均は0.12~1.00%である。

#### カルクフェルド地域

カーボナタイト複合岩体は、貫入形態からダイアトリーム状形態を有する。複合岩体の露出面積は0.3km<sup>2</sup>で、形態に対応した小規模な分布面積を示している。また、侵食形態からは、火山岩類型に区分され、侵食の程度は少ない。

周辺のカーボナタイト複合岩体と比較すると、本地域のOsongombo岩体の侵食深度が最も浅く、Kalkfeld岩体の侵食深度が最も深い。Ondurakorume岩体がその中間の侵食深度となる。一方、オレンジ地域のカーボナタイト複合岩体の侵食深度は、形態からOndurakorume岩体程度と想定される。

有用元素はこのカーボナタイト複合岩体に濃集している。濃集度の高いものは、希土類元素(La, Ce, Ndなど)とTh, Mn, Feであり、特に、後期に形成されたペフォルサイトと鉄鉱石に濃集

している。しかし、鉄鉱石(Fe)部は分布範囲が狭い。

希土類酸化物(R2O3)は、ベフォルサイトで最高1.36%、平均0.28%、鉄鉱石で最高0.54%、平均0.29ppmである。Thはベフォルサイトで最高0.23%、平均0.04%、鉄鉱石で最高0.23%、平均0.09%である。Mnはベフォルサイトで最高2.99%、平均1.37%、鉄鉱石で最高4.03%、平均3.79%である。Feはベフォルサイトで最高32.50%、平均10.86%、鉄鉱石では最高37.82%、平均34.85%である。希土類元素は鉄鉱石よりベフォルサイトで高濃度であるが、その他のTh, Mn, Feは鉄鉱石で高濃度である。

カルクフェルド地域のベフォルサイト岩体とオレンジ地域のベフォルサイト中央・北東両岩体とを比較すると、希土類元素は、ややカルクフェルド地域のベフォルサイトで多く、特に中希土類元素(Sm, Eu, Tb)の濃集度が高い。その他の元素ではTh, Ta, Mn, Feがカルクフェルド地域のベフォルサイトで高濃度となり、NbやSrがオレンジ地域のベフォルサイト両岩体で高濃度となる。UやZrは両地域同程度である。カルクフェルド地域のベフォルサイト中のPは、オレンジ地域のベフォルサイト中央岩体のより高濃度であるが、ベフォルサイト北東岩体のより低濃度である。

## 第2章 将来への提言

第1, 2年次の調査結果とその検討によって得られた結論に基づき、次のことを提言する。

ナミビアのカーボナタイトに対する、地化学探査やボーリング調査からなる本格的な基礎調査は、ナミビアでは始めてであり、本調査によりオレンジ・カルクフェルド地域の希土類元素などの有用元素の分布状況を把握することができた。

オレンジ地域とカルクフェルド地域には、ともに希土類元素などの有用鉱物を含むカーボナタイト複合岩体が分布している。カーボナタイト複合岩体のうち、特に苦灰石を主とするベフォルサイトは、有用鉱物の濃集状況や分布規模から、探鉱対象として最も重要である。

オレンジ地域のベフォルサイトには、希土類酸化物(R2O3)が平均0.12~0.15%、Pが1.00%、Nbが0.09~0.15%濃集する。カルクフェルド地域のベフォルサイトには、希土類酸化物(R2O3)が平均0.28%、Thが平均0.04%、Mnが1.37%、Feが平均10.86%濃集する。

しかし、現在世界的に稼行されているカーボナタイト複合岩体は、希土類酸化物を5~13%含む。これと比較すると両地域のカーボナタイト複合岩体は、希土類元素の含有量が低い。

ナミビアの他のカーボナタイト複合岩体と比較すると、露出面積が中規模で、岩栓状浅所深成型のOndurakorume岩体は、希土類酸化物(R2O3)が3%、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>が0.24%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>が7%濃集する。露出面積が広く、環状で深所深成型のKalkfeld岩体は、希土類元素のCeが0.2~0.8%、Laが0.05~0.5%、Ndが0.1~0.25%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>が7~8%濃集する。つまり、ベフォルサイトなど後期晶出物の分布面積が広いOndurakoreme岩体に、希土類元素などの有用元素が、比較的濃集する傾向にある。

オレンジ地域のカーボナタイト複合岩体は、露出面積が中規模な岩栓状の浅所深成型であり、ボーリング調査では、深部に向けて希土類元素などが増加する傾向は認められないが、地下深

部の状況は、閃長岩やソバイトなど前期晶出物の多いkalkfeld岩体の生成状況と対応し、同程度の有用元素の濃集が期待される。

カルクフェルド地域のカーボナタイト複合岩体は、生成状況から深部でOndurakorume岩体のように、前期晶出物が多く、希土類元素などが増加すると予想されるが、分布面積が少ない。

従って、オレンジ・カルクフェルド両地域のカーボナタイト複合岩体とも、今後は希土類元素などの有用鉱物の経済的な価値が高まれば、さらに密度の細かいボーリング調査などにより賦存量を明らかにし、改めて経済的評価を行うことも考えられる。



## 参 考 文 献





参 考 文 献

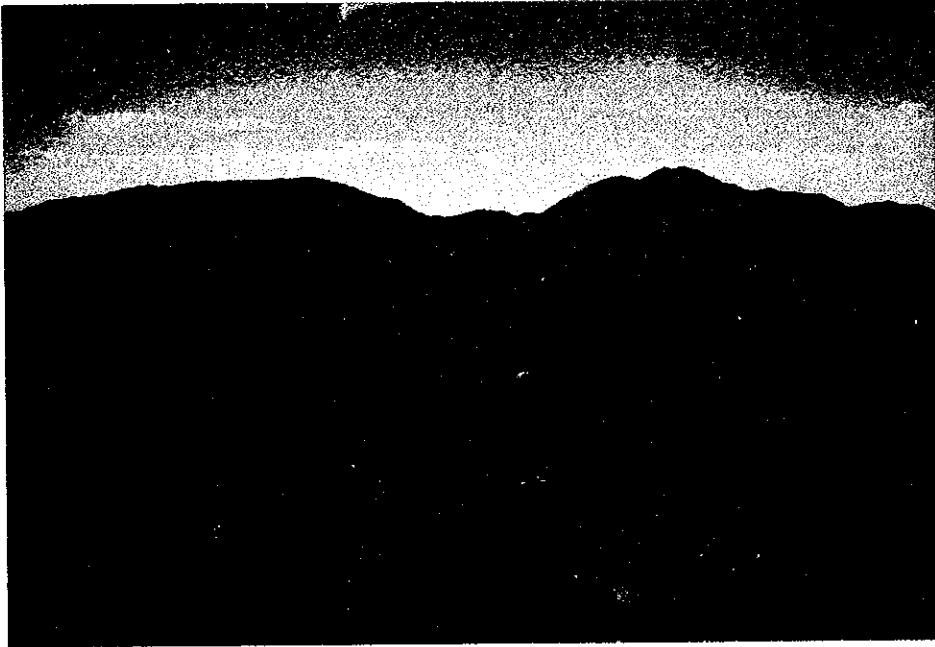
- Advertising Supplement to Mining Journal(1992): Namibia, London, 23 Oct., 16pp.
- Dendle, P. K. (1971): Kheis Project(South West Africa), Kawagganek Sub-Project. Report on Reconnaissance Investigation on the Kwagganek Prospecting Grant- No. M46/3/369, Bulletin No. 1510, Falconbridge Explorations Ltd., 8pp.
- Diehl B. J. M(1990): Thorium, Yttrium, and Rare Earth Elements. Geological Survey of Namibia, Mineral Resource Series, 19pp.
- Geological Society of South Africa(1985): Geological Map of Southern Africa.  
In Anhaeusser, C.R. and Maske S. eds, Mineral Deposits of Southern Africa. Vol. II, Geological Society of South Africa.
- Geological Survey of Namibia(1982): The Geology of South West Africa, Namibia.
- Geological Survey of Namibia(1984a): Aeromagnetic Survey, Alexander Bay, 1:250,000.
- Geological Survey of Namibia(1984b): Aeromagnetic Survey, Alexander Bay 2817AB, 1:50,000.
- Geological Survey of Namibia(1974a): Aeromagnetic Survey, Otjiwarongo, 1:250,000.
- Geological Survey of Namibia(1974b): Aeromagnetic Survey, Omaruru 2016CC, 1:50,000.
- Gold, D. P. (1966): The average and typical chemical composition of carbonatite. Miner. Soc. India. IMA Vol., p83-91.
- Hamilton, D. L., Bedson, P. and Esson, J. (1989): The Behaviour of Trace Elements in the Evolution of Carbonatites. Carbonatites, Unwin Hyman, p405-427.
- Gittins, J. (1989): The Origin and Evolution Carbonatite Magmas. Carbonatites, Unwin Hyman, p580-600.
- Heath, D. C. (1973): Fish River Lead-Zinc Exploration Report for the Period June 1972 to Dec. 1972, Karasburg District, South West Africa, Prospecting Grand- No. M46/3/314 Rio Tinto Exploration(PTY.) Ltd., 4pp.
- Ishihara, S(1991): Carbonitoid Series and REE-Y-Zr-Ta-Nb Mineralization. Proceedings of International Conference on Rare Earth Minerals and Minerals for Electronic Uses, Prince for University, p527-532.
- (財)国際鉱物資源開発協力協会(1992a): 平成3年度資源開発協力調査プロジェクト選定調査衛星画像解析報告書 ナミビア共和国. 33pp.
- (財)国際鉱物資源開発協力協会(1992b): 平成3年度資源開発協力調査プロジェクト選定(情報解析)報告書 ナミビア共和国. 187pp.
- Mariano, A. N. (1989): Nature of Economic Mineralization in Carbonatites and Related Rocks. Carbonatites, Unwin Hyman, p149-176.
- Middlemost, E. A. K. (1974): Petrogenetic Model for the origin of carbonatites. Lithos 7, p275-278.

- Namibia Foundation(1993): Focus on Mining, Namibia Brief, No.17, 88pp.
- 坂巻幸雄・神谷雅晴(1988a): レアメタル資源 レア・アース(1).地質ニュース404号, p17-29.
- 坂巻幸雄・神谷雅晴(1988b): レアメタル資源 レア・アース(2).地質ニュース405号, p26-51.
- Schommarz, R.E.(1988): Preliminary Report on the Marinkas Quelle Carbonatite Complex.  
Unpub rep., Geological Survey of Namibia, 9pp.
- Smithies, R.H.(1990): Geological Report Anorogenic Alkaline Complex and Associated  
Hydrothermal Systems on the Farm Kanabeam. Genmin Mineral Resources M46/3/1802, Open  
File of GSN., 11pp.
- 諏訪兼位(1981): カーボナタイト岩石学. 鉱山地質, Vol.31, p457-465.
- 武内寿久禰(1973a): カーボナタイト鉱床(Ⅰ). 鉱山地質, vol.23, p367-382.
- 武内寿久禰(1973b): カーボナタイト鉱床(Ⅱ). 鉱山地質, vol.23, p437-451.
- 武内寿久禰(1981): カーボナタイト鉱床について. 鉱山地質, vol.31, p415-420.
- Verwoerd W.J.(1965): Note on the Economic Geology of south West African Carbonatite  
Occurrences. Geological Survey of Namibia, Open File Report EG076, 2p.
- Verwoerd, W.J.(1967): The Carbonatites of the South Africa and South West Africa.  
Geological Survey of South Africa, Handbook 6, 452pp.
- Verwoerd, W.J.(1986): Mineral Deposits Associated with Carbonatites and Alkaline Rocks.  
In Anhaeusser, C.R. and Maske, S. eds., Mineral Deposits of Southern Africa. Vol.II,  
Geological Society of South Africa, p2173-2191.

# 卷末資料

A - 1 調査地域写真

A-1 Photographs of the Survey Area



Overlooking of the Orange Area



Overlooking of the Kalkfeld Area

A-1 調査地域写真



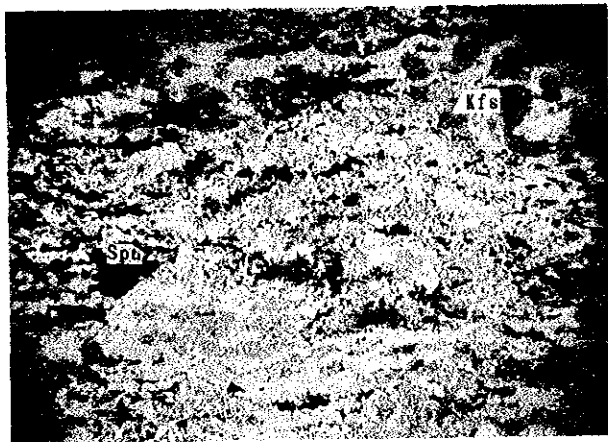
A - 2 顯微鏡写真



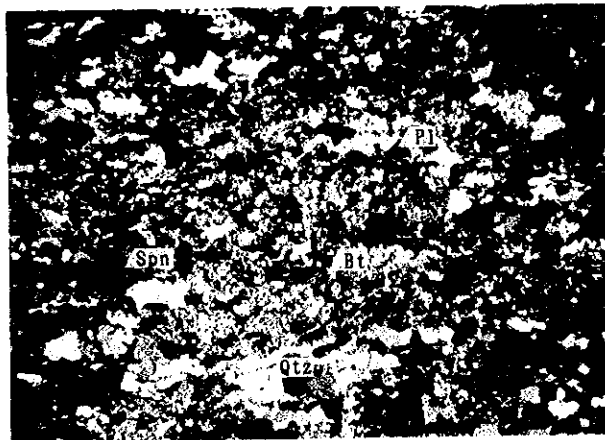
## Abbreviation

### Minerals

Qtz: quartz  
Pl: plagioclase  
Kfs: orthoclase  
Spn: sphene  
Agt: aegirine  
Cpx: clinopyroxene  
Bt: biotite  
Phl: phlogopite  
Rbk: riebeckite  
Cal: calcite  
Dol: dolomite  
Ap: apatite  
Pyro: pyrochlore  
Po: pyrrhotite

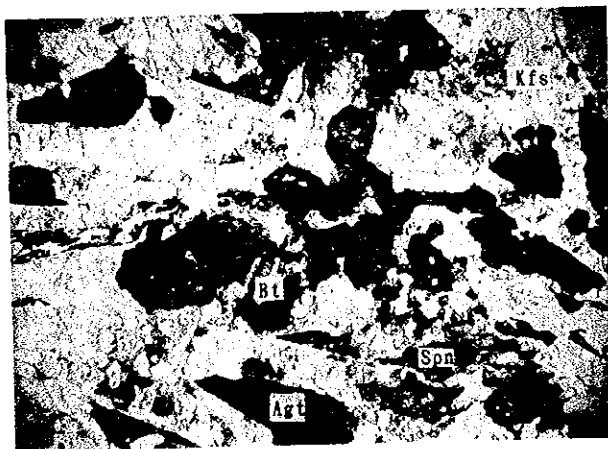


Open nicol 0.7mm

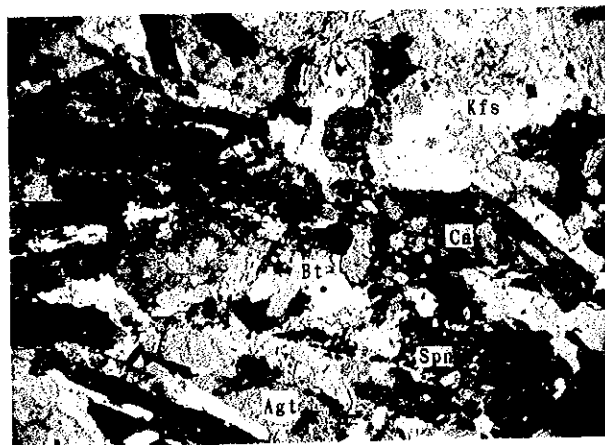


Cross nicol 0.7mm

Sample No. A 90  
 Formation Namaqua Metamorphic Complex  
 Rock name Gneiss  
 Locality The Orange Area

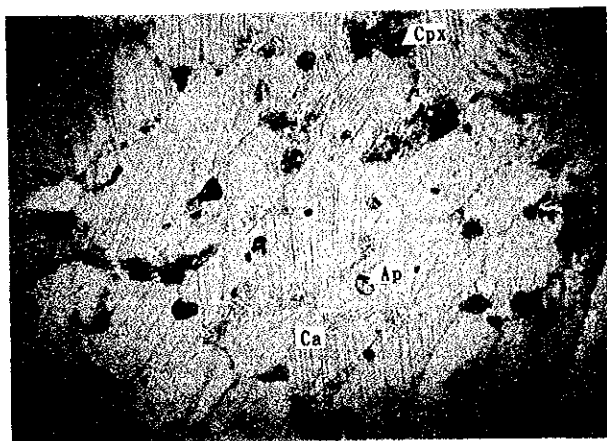


Open nicol 0.7mm



Cross nicol 0.7mm

Sample No. I 80  
 Formation Marinkas Quelle Carbonatite Complex  
 Rock name Syenite  
 Locality The Orange Area



Open nicol 0.7mm

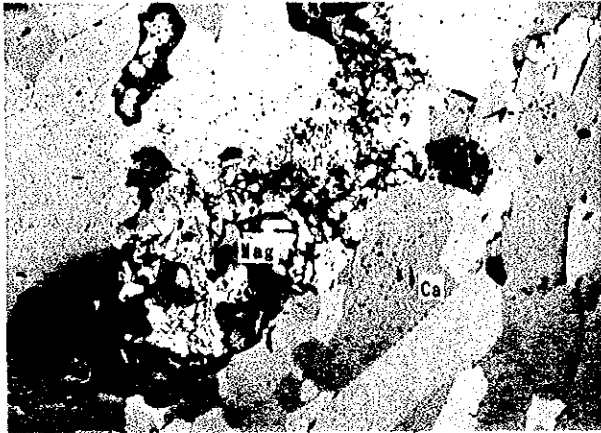


Cross nicol 0.7mm

Sample No. R 20  
 Formation Damara Sequence  
 Rock name Calcite Marble  
 Locality The Ralkfeld Area

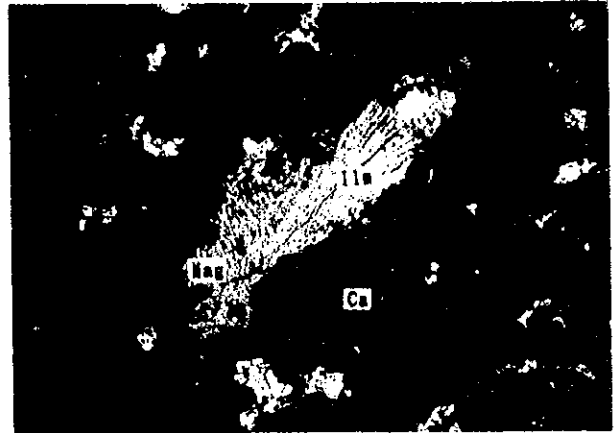
A - 2 顕微鏡写真 (1)





Sample No. E 50  
 Formation Marinkas Quelle Carbonatite Complex  
 Rock name Beforiste  
 Locality The Orange Area

Open nicol 0.5mm



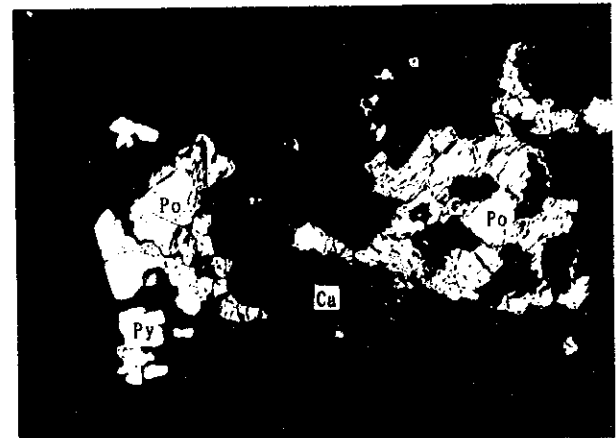
Sample No. Ea 51(No.2)  
 Formation Marinkas Quelle Carbonatite Complex  
 Rock name Beforiste  
 Locality The Orange Area

Open nicol 0.5mm



Sample No. N 12  
 Formation Marinkas Quelle Carbonatite Complex  
 Rock name Leuco-syenite  
 Locality The Orange Area

Open nicol 0.5mm



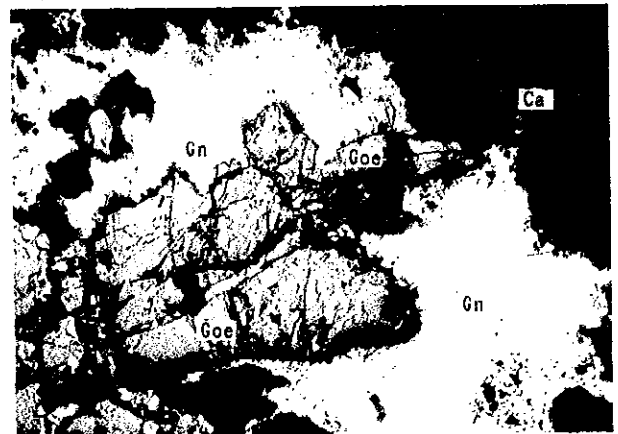
Sample No. Na 12  
 Formation Marinkas Quelle Carbonatite Complex  
 Rock name Porphyritic Syenite  
 Locality The Orange Area

Open nicol 0.5mm



Sample No. Sa40  
 Formation Osongomo Diatreme  
 Rock name Beforsite  
 Locality The Kalkfeld Area

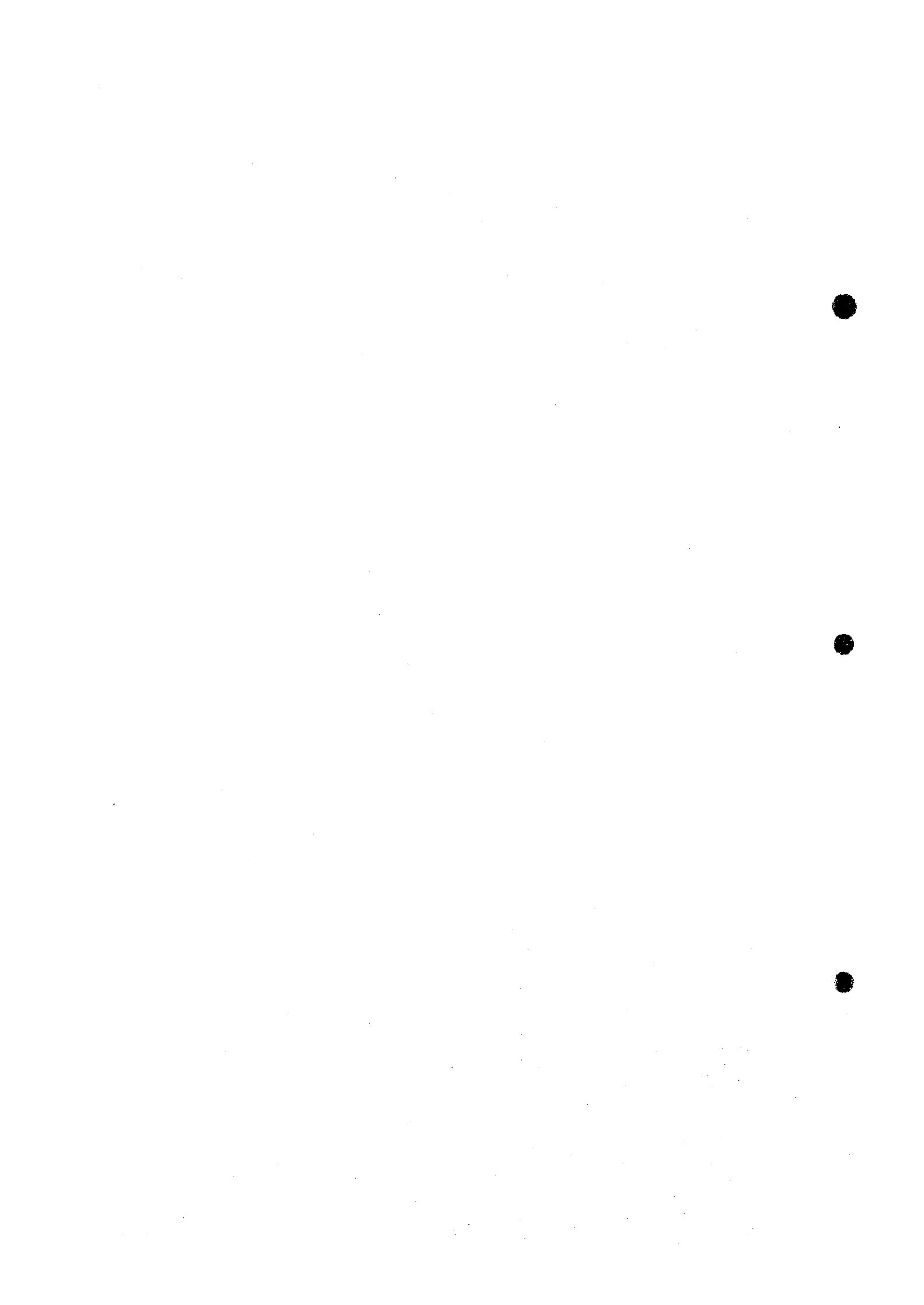
Open nicol 0.5mm

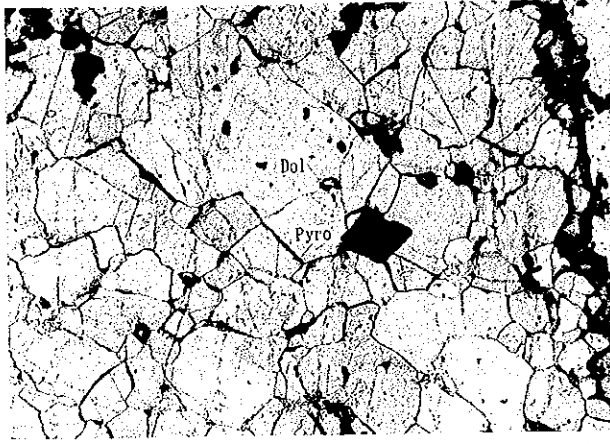


Sample No. U 45  
 Formation Osongomo Diatreme  
 Rock name Beforsite  
 Locality The Kalkfeld Area

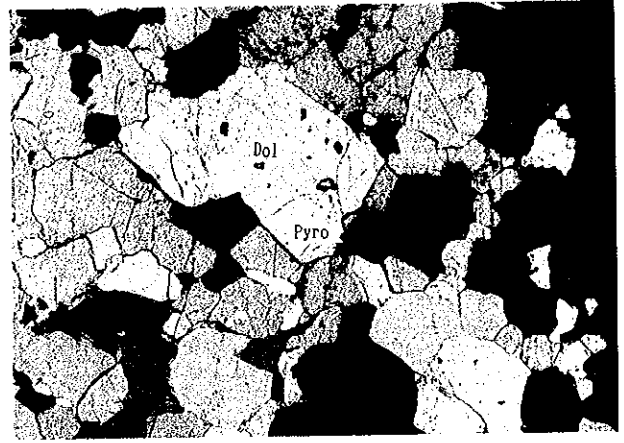
Open nicol 0.5mm

A-2 顕微鏡写真(2)



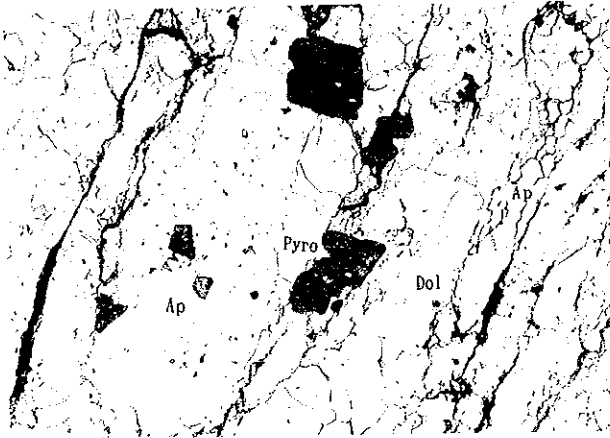


Open nicol 0.7mm

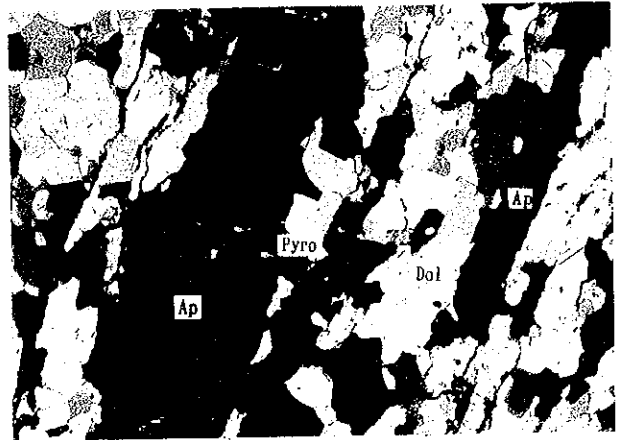


Cross nicol 0.7mm

Sample No. Da415  
 Formation Central beforosite body of the Marinkas Quelle Carbonatite Complex  
 Rock name pyroclore bearing beforosite  
 Locality The Orange Area

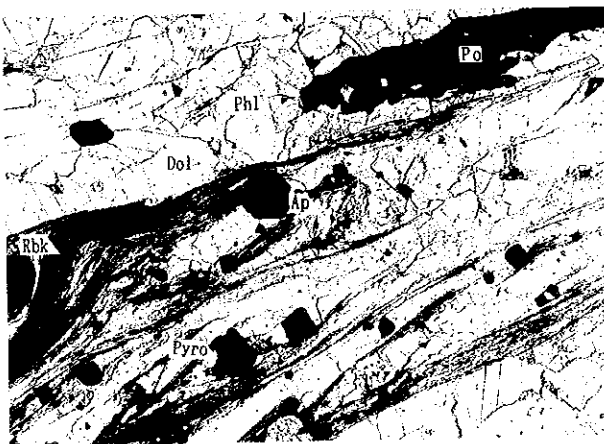


Open nicol 0.7mm

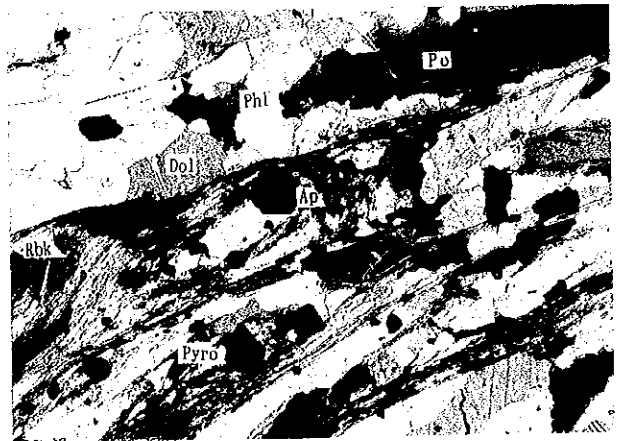


Cross nicol 0.7mm

Sample No. Lc415  
 Formation Northeast beforosite body of the Marinkas Quelle Carbonatite Complex  
 Rock name pyroclore bearing beforosite  
 Locality The Orange Area



Open nicol 0.7mm



Cross nicol 0.7mm

Sample No. 6T-2 (MJNO-2 117.0m)  
 Formation Northeast beforosite body of the Marinkas Quelle Carbonatite Complex  
 Rock name pyroclore bearing beforosite  
 Locality The Orange Area

A - 2 顕微鏡写真 (3)

